Universidad Carlos III de Madrid

Escuela politécnica Superior

Ingeniería Mecánica

PROYECTO FIN DE GRADO

PROYECTO ESTRUCTURAL DE UN HANGAR PARA MANTENIMIENTO DE AVIONES

Departamento de mecánica de medios continuos y teoría de estructuras

Autor: Rubén Municio Gómez

Tutor: Ramón Vicente Fernández

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a cada persona que me ha apoyado en esta etapa de mi vida que está por llegar a su fin con este proyecto.

En primer lugar agradecer a mi tutor, Ramón Vicente, por su apoyo, ayuda y por compartir sus conocimientos conmigo.

En segundo lugar a mis compañeros del grupo 15 de primero, porque a pesar de algunos rezagados por el camino siempre hemos estado juntos y que gracias a ellos se ha hecho más ameno estos 4 años, también agradecer a todos los demás compañeros que he conocido y toda su ayuda aportada.

Por último, y no menos importante, a toda mi familia que ha sido el apoyo diario de esta carrera tan dura y gracias a ellos estoy aquí hoy.

INDICE

INDICE DE ILUSTRACIONES

INDICE DE TABLAS

1: INTRODUCCIÓN

1.1. AGENTES

1.1.1. PROMOTOR

El promotor es una entidad virtual denominada "VDS", dedicada al mantenimiento de aeronaves en el aeropuerto español de Barajas, con localidad en Madrid.

1.1.2. PROYECTISTA

El autor de la propuesta es el alumno de ingeniería mecánica de la universidad Carlos III de Madrid, Rubén Municio Gómez.

1.2. MOTIVACION

A día de hoy la aviación está sufriendo una etapa de expansión. Millares de aeronaves operan alrededor del mundo diariamente, por ello se ha convertido en un medio de transporte básico como lo son el barco o el tren.[1]

Estas aeronaves generalmente vuelan por encima de ciudades y la gran mayoría transportan personas. Debido a esto, es necesario que las normas del mantenimiento de éstas y sus procedimientos se respeten. Ninguna pieza por insignificante que resulte debe fracasar pues está calculada para que efectúe una función.[2]

Aeronáutica es una de las ramas de la ingeniería donde los coeficientes de seguridad son mayores debido a la responsabilidad que hay con la seguridad de no poner en peligro vidas. Las compañías asumen las miles de horas de entrenamiento y trabajo de cientos de ingenieros, mecánicos y técnicos, y los elevados costes económicos, para ofrecer la seguridad y comodidad que ofrecen los aviones.[3]

En la actualidad, la clase de estructura más utilizada para desarrollar la actividad de mantenimiento es la Nave Industrial.

El cálculo y diseño de una estructura industrial supone un gran aprendizaje y desafío, para alguien que persigue concluir sus estudios de Ingeniería Mecánica. En el presente proyecto se emplearán los conocimientos adquiridos a lo largo de los años en asignaturas como Teoría de Estructuras y Resistencia de Materiales entre otras, haciendo hincapié en los aspectos más prácticos.

Asimismo se profundizará en el funcionamiento de una de las herramientas de software más usadas para el cálculo de estas estructuras como es el paquete de programas CYPECAD de CYPE Ingenieros, con el que se consigue resolver casi cualquier tipo de solución constructiva.

1.3. OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es el diseño y calculo estructural de un hangar, capaz de albergar 4 aeronaves, para el mantenimiento de estas.

Por otra parte, los objetivos secundarios son:

- Estudio y aprendizaje de las normas que regulan las construcciones industriales con el fin de asegurar la integridad del emplazamiento a construir.
- Profundizar en el diseño y cálculo de una estructura del tipo nave industrial, utilizando los conocimientos adquiridos durante estos cursos.
- Aprendizaje y manejo del programa informático CYPE.

1.4. NORMATIVA APLICABLE

A continuación se muestra la normativa seguida para el cálculo de esta estructura.

1.4.1. Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias que deben cometer los edificios en concordancia con los requisitos básicos de habilidad y seguridad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).[4]

Los edificios deben cumplir con una serie de requerimientos básicos de calidad, los cuales se refieren a materias de seguridad como son: la seguridad de utilización, la seguridad contra incendios o la seguridad estructural.[4]

El CTE trata de dar respuesta a la demanda de la sociedad en cuanto a la mejora de la calidad de la edificación y simultáneamente fomentar el desarrollo sostenible, así como mejorar la protección del usuario. Éste se emplea en edificios de nueva construcción y en intervenciones en edificación existente.[4]

En este proyecto se han utilizado, sobre todo, varios módulos referidos a la seguridad estructural. Tales como:

- Seguridad estructural (DB-SE): Este Documento Básico (DB) tiene como objetivo implantar reglas y procedimientos que permitan desempeñar los requerimientos básicos de seguridad estructural. La correcta aplicación del conjunto del DB supone que se satisface el requisito básico "Seguridad estructural".[5]
- Seguridad Estructural Acciones en la edificación (SE-AE): El campo de aplicación de este Documento Básico es el de la determinación de las acciones sobre los edificios, para confirmar el cumplimiento de las necesidades de seguridad estructural (capacidad portante y estabilidad) y aptitud al servicio, establecidos en el DB-SE.[6]

- Seguridad estructural Acero (SE-A): Este DB se propone verificar la seguridad estructural de los elementos metálicos elaborados con acero en edificación. No se contemplan aspectos propios de otros campos de la construcción como: puentes, silos, chimeneas, antenas, tanques, etc. y tampoco se tratan aspectos relativos a elementos que, por su carácter específico, requieren consideraciones especiales.[7]

1.4.2. Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)
1.4.3. European Aviation Safety Agency (EASA)

Ilustración 1: Captura de la portada del código técnico de la edificación (CTE).

Ilustración 2: Símbolo de la organización de aviación civil internacional (OACI).

Ilustración 3: Símbolo de European Aviation Safety Agency (EASA).

2: ANTECEDENTES

2.1. ESTRUCTURA

Es el conjunto de elementos resistentes convenientemente vinculados entre sí que accionan y reaccionan bajo los efectos de las cargas a las que son sometidos. Su finalidad es resistir y transmitir las cargas del edificio a los apoyos manteniendo la forma sin sufrir deformaciones incompatibles.[2]

La construcción de hangares con una estructura de acero fue una constante durante el resto del siglo XX. La gran mayoría de los hangares construidos mediante esta tecnología siguen siendo los más comunes en todos los aeropuertos del mundo.[1]

Ilustración 4: Proceso de construcción de un hangar de estructura metálica.

Las cargas a las que está sometida la estructura se pueden dividir en:

- Cargas Permanentes:
  - **Peso propio** se incluyen las cargas de la estructura que son las producidas por las deformaciones que experimentan los materiales en el transcurso del tiempo por fluencia bajo las cargas u otras causas.
  - La **carga muerta** de elementos distintos de la estructura que siempre estarán, como los cerramientos.
- Carga variable:
  - **Cargas de funcionamiento** que actúan sobre la construcción como por ejemplo mobiliario, máquinas, grúas y las personas que van a estar en la construcción.
  - Acciones varias donde se refleja la acción de la temperatura (dilatación-contracción), el **viento**, la **nieve**, sismos, etc.

Vemos que las cargas que pueden actuar sobre una estructura son muy variadas y pueden darse una serie de combinaciones entre ellas. La estructura debe soportar la combinación más desfavorable también llamada combinación pésima. Cuando se habla de soportar se hace referencia a tres aspectos[2]:

- Estabilidad.
- Resistencia.
- Deformación limitada.

La estabilidad de una estructura es la que garantiza que dicha estructura cumpla a estados límites últimos.

2.2. NAVES INDUSTRIALES

Son estructuras metálicas empleadas en la industria que por motivos funcionales suelen requerir grandes luces y alturas.

Las naves industriales suelen tener que proporcionar grandes espacios diáfanos, por lo que resulta esencial que la estructura sea ligera. Por ello y por limitaciones de transporte, el hormigón solo se emplea en estructuras de hasta 30 m de luz. En el resto de los casos se recurre al acero. También es habitual tener que emplear cerchas, como medio de reducir el peso propio. Esta necesidad de reducir peso permanente se extiende al resto de unidades de obra, por lo que los cerramientos son también ligeros.

Los pilares que se emplean suelen ser perfiles de acero laminado normalizado en alguna de sus variedades (HEB, HEA, UPN, IPE, etc.) o formados por chapas soldadas para conformar lo que se conoce como perfiles armados.[8]

En donde se puede ver más variedad de formas es en las vigas que pueden ser desde simples perfiles de acero laminado hasta complicadas estructuras de barras soldadas que conforman lo que se denomina una cercha, pasando por vigas de perfil variable.[8]
Cuando se emplean cerchas para realizar las vigas de la cubierta suele ser porque la luz entre los pilares es muy grande.[8]
Muchos son los tipos de hangares y de helipuertos que se pueden encontrar, todos ellos condicionados por el tamaño de las aeronaves que los usan y las condiciones en las que lo hacen.[2]

2.3. HANGARES

Por su parte los hangares suelen ser superficies cubiertas, de grandes dimensiones, diáfanas, sin pilares, para evitar golpes con los aparatos y favorecer el moviendo en el interior de los aviones así como las labores de reparación y mantenimiento.

Generalmente para salvar las grandes luces que cubren se suele emplear estructuras articuladas de barras para que la cubierta pese lo menos posible. La altura no es la dimensión que sobresale entre las demás, sino que es la anchura, consiguiendo en algunos casos luces entre pilares de más de 50m. Estas construcciones sólo son empleadas para cobijar a las aeronaves, por lo que no necesitan más que soportarse a sí mismas y a las sobrecargas de viento y nieve a las que están expuestas según sea el caso.[2]

Los hangares tienen la particularidad de que necesitan unas grandes puertas de entrada para meter y aparcar las aeronaves, lo que impide la colocación de pilares en los frentes de la estructura.[2]

Ilustración 5: Avión frente a un hangar de mantenimiento.

2.4. TIPOS DE MANTENIMIENTO PARA AVIONES

El Mantenimiento Aeronáutico es el conjunto de actividades dirigidas a permitir que las aeronaves operen con seguridad, eficiencia y bajo las condiciones de aeronavegabilidad, tal y como establece la normativa EASA.[9]

De esta forma, el mantenimiento aeronáutico tiene unas características muy concretas, que le diferencian a otros sectores:

- La seguridad y el servicio al pasajero son aspectos prioritarios.
- Una regulación de carácter internacional muy rigurosa.
- Los costes han de estar controlados y deben ser lo más bajos posibles con el fin de que la operación de la aeronave sea rentable.
- La utilización diaria de las aeronaves es muy alta dado que cada una de ellas supone una inversión muy elevada.[9]

En la definición clásica de los principios que inspiran el transporte aéreo, las prioridades a atender son, por orden[9]:

- Seguridad
- Puntualidad
- Regularidad
- Economía

Las tareas de mantenimiento necesarias para conseguir que la operación de los aviones sea segura y eficiente, se agrupa en las siguientes categorías[9]:

2.4.1. Mantenimiento en línea:

- No programado: Consiste en la reparación de averías o fallos funcionales a medida que van ocurriendo. Los fallos pueden ser identificados por el personal operativo y se avisa a la plantilla de mantenimiento para su reparación.[9]
- Programado: Se ejecuta siguiendo un programa de revisión y recambio de partes normado y concreto. Tiene como finalidad mantener el certificado de aeronavegabilidad de los aviones y restaurar el nivel especificado de fiabilidad. Se divide en capítulos y subcapítulos, según la especificación **ATA 100**, norma que estipula y describe las tareas a realizar y los intervalos (medidos por horas de vuelo realizadas) en que deben efectuarse. Pueden diferenciarse 3 categorías de este mantenimiento[9]:
  - El mantenimiento de transito consiste en una inspección rápida antes de cada vuelo, se consigue una idea del estado general del avión, detectando daños estructurales y confirmar el buen estado de neumáticos y aceite.
  - La revisión diaria que se lleva a cabo antes del primer vuelo de cada día.
  - La revisión S, tiene lugar cada 100 horas de vuelo, comprueba todos los aspectos en relación a la seguridad corrigiendo posibles anomalías.

2.4.2. Mantenimiento menor:

- Revisión A, verifica la integridad de la máquina.
- Revisión B, comprueba la seguridad de sistemas, componentes y estructura
- Revisión C, inspección completa, realizada por áreas de todas las zonas del avión.[9]

2.4.3. Mantenimiento mayor:

Más conocido como Programa de Inspección Estructural, consiste en una revisión más profunda por la que tienen que pasar todos los aviones, su duración suele ser de mes y medio e involucra a más de 250 técnicos especializados.
El coste total de la operación ronda los 2 millones de euros y tiene que cumplir cada una de las exigencias para que tenga el visto bueno para seguir en servicio.
Al final del proceso el avión sale del hangar como recién salido de fábrica.[9]

Ilustración 6: Avión sometido a un mantenimiento dentro de un hangar.

2.5. DESCRIPCION DEL CYPE

Este software tiene varios módulos de trabajo en los cuales se resuelven distintos problemas estructurales, en este proyecto se pondrá en práctica el uso de los módulos Generador de pórticos y CYPE 3D.

2.5.1. Generador de pórticos:

Permite el dimensionado de cubiertas y fachadas laterales de forma optimizada y genera de forma automática las cargas de viento y nieve introducidas en el programa en la opción de datos generales.

También se pueden dimensionar las correas de la cubierta pudiendo especificar la flecha máxima admisible. Una vez rellenado todos los campos necesarios y siguiendo una serie de pasos, el pórtico se puede exportar a cype 3D.

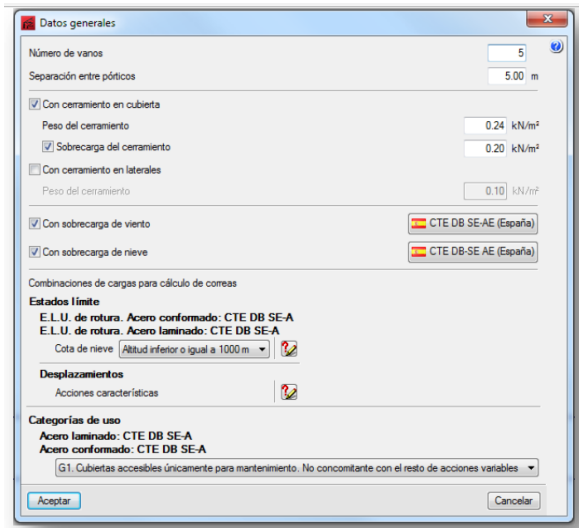


Ilustración 7: Captura sobre la introducción de datos en CYPE.

2.5.2. CYPE 3D

La primera cosa que nos pide el cype al exportarlo a 3D es la normativa vigente a aplicar. Una vez estemos en 3D ya se pueden ir añadiendo barras y nudos necesarios para el hangar, con principal cuidado en poner bien los coeficientes de pandeo.

Cuando ya esté todo dispuesto, pasamos a comprobar las barras para ver qué perfil es el que cumple con los requisitos.

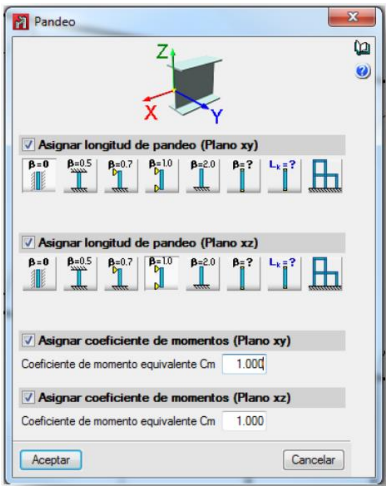


Ilustración 8: Pandeo en CYPE.

3: REQUISITOS DEL DISEÑO

3.1. EMPLAZAMIENTO

El hangar que se ha diseñado para este proyecto está pensado para albergar un B757-300 o aviones de menor tamaño. Su lugar de ubicación será el aeropuerto de Madrid, Barajas.

3.2. DIMENSIONES

Todas las infraestructuras e instalaciones están orientadas para poder albergar en su interior aeronaves del modelo B757-300 de la compañía Boeing, Estados Unidos. Según la norma OACI este avión está clasificado como una tipo D debido a su envergadura y distancia del tren principal.

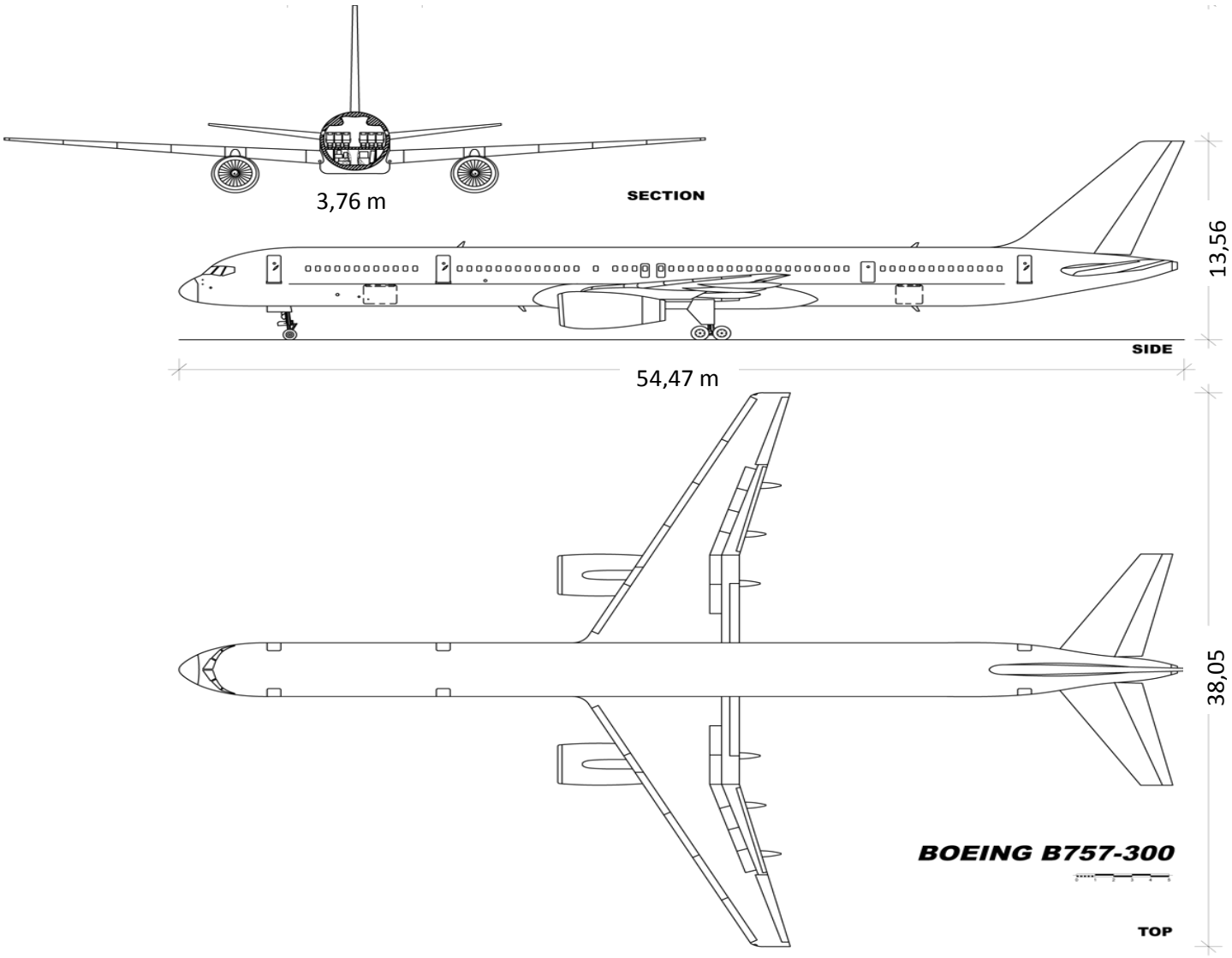


Imagen 9: Vistas de un B757-300

El diseño del hangar para las aeronaves tendrá en cuenta las dimensiones del avión de mayor envergadura y unos márgenes de seguridad.

Tabla 1: Separación de aeronaves dentro del hangar.

Minimum Clearances from Hangar Elements[1]						
Aircraft Element	**Door**		**Walls**		**Roof Framing**	
	m	**ft**	**m**	**ft**	**m**	**ft**
Wing Tip - under 30.5 m (100 ft) span	3	10	3	10	-	-
Fuselage - under 30.5 m (100 ft) span	3	10	3	10	3	10
Wing Tip - over 30.5 m (100 ft) span	3	10	4.6	15	-	-
Fuselage - over 30.5 m (100 ft) span	3	10	4.6	15	3	10
Tail - Vertical	2.1	7	-	-	3	10
Tail - Horizontal	3	10	3	10	3	10
Helicopter Rotor Blade	3	10	3	10	3	10

1. Clearances between aircraft components should be at least 3 m (10 ft) where two or more aircraft are housed. None of the above clearances requires a waiver for existing facilities.

El diseño del área de maniobras para las aeronaves en las inmediaciones del hangar, se ha diseñado para que esta aeronave pueda maniobrar con propia propulsión. Para ello se han considerado las distancias mínimas establecidas por el anexo 14 de OACI-Aeropuertos, y los criterios de desviación y márgenes de seguridad del manual de diseño de aeródromos, plataformas, apartaderos de espera y calles de rodaje (Doc. 9157 – Parte 2). Los requerimientos considerados en el diseño geométrico son[10]:

- La calle de rodaje tendrá una anchura de 18 metros, correspondientes las necesidades de aeronaves tipo D y separación entre bordes exteriores del tren principal de 9 metros (apartado 3.9.5 del Anexo 14 de la OACI)
- Los márgenes de la calle de rodaje serán pavimentadas de 10 metros. La anchura total pavimentada será de 38 metros. (apartado 3.10.1 del anexo 14 de la OACI.)
- La pendiente longitudinal máxima será de +- 1,5%
- Frente al hangar se proporcionara espacio suficiente para el estacionamiento de otras aeronaves del mismo tipo o menos tamaño.
- Los márgenes de seguridad desde las puntas de alas será acorde a lo establecido en el Anexo 114 de la OACI y el Manual de Diseño de Aeródromos (Doc. 0157, parte 2, para las plataformas de estacionamiento de aeronaves.)
- El método habitual para el movimiento de los aviones en las instalaciones será mediante tractor-pushback, aunque los márgenes de seguridad que proporcionan permiten el movimiento de forma autónoma.
- Todas las áreas de seguridad quedaran dentro de los terrenos de la propiedad.

El diseño proporcionado maximiza la funcionabilidad y versatilidad en el mínimo espacio y contempla espacio suficiente para permitir la maniobra de rodaje de las aeronaves mientras hay alguna estacionada en la estructura.[10]

3.3. CALLE DE RODAJE

La calle de rodaje se ha diseñado con una anchura total de 38 metros, de los cuales 18 centrales se corresponden con la calle de rodaje en sí, y los 10 restantes a cada lado son de margen.[10]

La calle de rodaje tiene una pendiente de 1,5% descendiente hacia el hangar, dando continuidad así a la pendiente transversal de la pista de vuelos y facilitando los acuerdos entre la calle de rodaje con la franja de pista nivelada.[10]

Por otro lado el diseño se ha hecho con pendientes transversales para facilitar la evacuación del agua.[10]

En cuanto a los acuerdos verticales, se ha considerado un cambio de pendiente longitudinal máximo del 1% por cada 30m manteniendo siempre el criterio de distancia visible, desde cualquier punto situado a 3m sobre la calle de rodaje puede verse toda la superficie hasta unos 300m.[10]

3.4. PLATAFORMA DE AERONAVES

Normalmente, el área de plataforma adyacente al hangar es un área que suele estar ocupada con frecuencia. La configuración general que presenta el conjunto hangar, plataforma y calle de rodaje mantienen las distancias mínimas para proporcionar flexibilidad y funcionabilidad al área de maniobras de las aeronaves.[10]

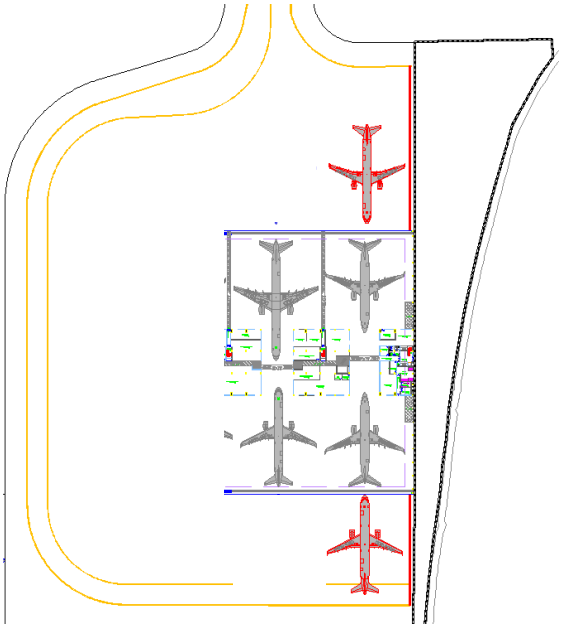


Imagen 10: Plataforma para aeronaves con una configuración de ejemplo.

La plataforma situada frente al hangar en la parte delantera se ha diseñado proporcionando suficiente espacio para permitir el estacionamiento de aviones de forma similar a la utilizada en el hangar de la imagen 10, de modo que se permite la entrada y salida de aeronaves con aviones estacionados en el resto de bahías del hangar.[10]

Según el Doc. 9157 parte 2 de OACI, la separación entre el eje de la calle de rodaje y cualquier obstáculo u objeto se debe realizar considerando tres parámetros básicos:

- Y/2 Semienvergadura de la aeronave de referencia que vaya a utilizar la calle.
- X Desviación lateral máxima permitida durante el rodaje.
- Z Incremento (marguen de seguridad).

La distancia entre el eje de la calle de rodaje y los objetos será de $\frac{Y}{2} + X + Z$ [1]

El valor de semienvergadura dependerá de la aeronave, en este caso la aeronave de mayor envergadura que puede estacionar en el hangar es un B757-300.

Los valores de desviación lateral máxima e incremento se determinarán en base a la clave de referencia de aeronave, que en este caso es la letra D.

Por lo que se obtiene:

- $\frac{Y}{2} = \frac{38.06}{2} = 19.03m$ [2]
- $X = 4.5m$ [3]
- $Z = 10m$ [4]

La distancia de separación entre el eje de la calle de rodaje y los objetos será de 33.53 metros en los tramos rectos.

En las zonas donde la aeronave efectúa una maniobra se han establecido los márgenes de seguridad, con el fin de determinar los sobreanchos necesarios para garantizar la seguridad de la maniobra.[10]

4: MODELIZACIÓN REALIZADA

El cálculo de la estructura se ha realizado mediante el análisis independiente de cinco subestructuras. Aunque hubiera sido posible generar un único modelo de la totalidad del edificio, he optado por su división porque permite un análisis más fácil de los resultados sin perder precisión. El aumento de información que genera un modelo de la totalidad de la estructura sería repetitivo y dificultaría su manejo y tratamiento. Sin embargo los modelos reducidos permiten un mejor análisis de su comportamiento.

La estructura objeto de análisis consiste en dos tipos de pórtico (piñón e intermedio) que se repiten sin variación a lo largo del edificio. Por tanto con el análisis de estas dos configuraciones se reproduce con la suficiente fidelidad la estructura transversal. El estudio se completa con la introducción del pórtico longitudinal, para el cálculo del reparto de fuerzas en ese sentido. Por último se han creado modelos de las correas de fachada y de cubierta.

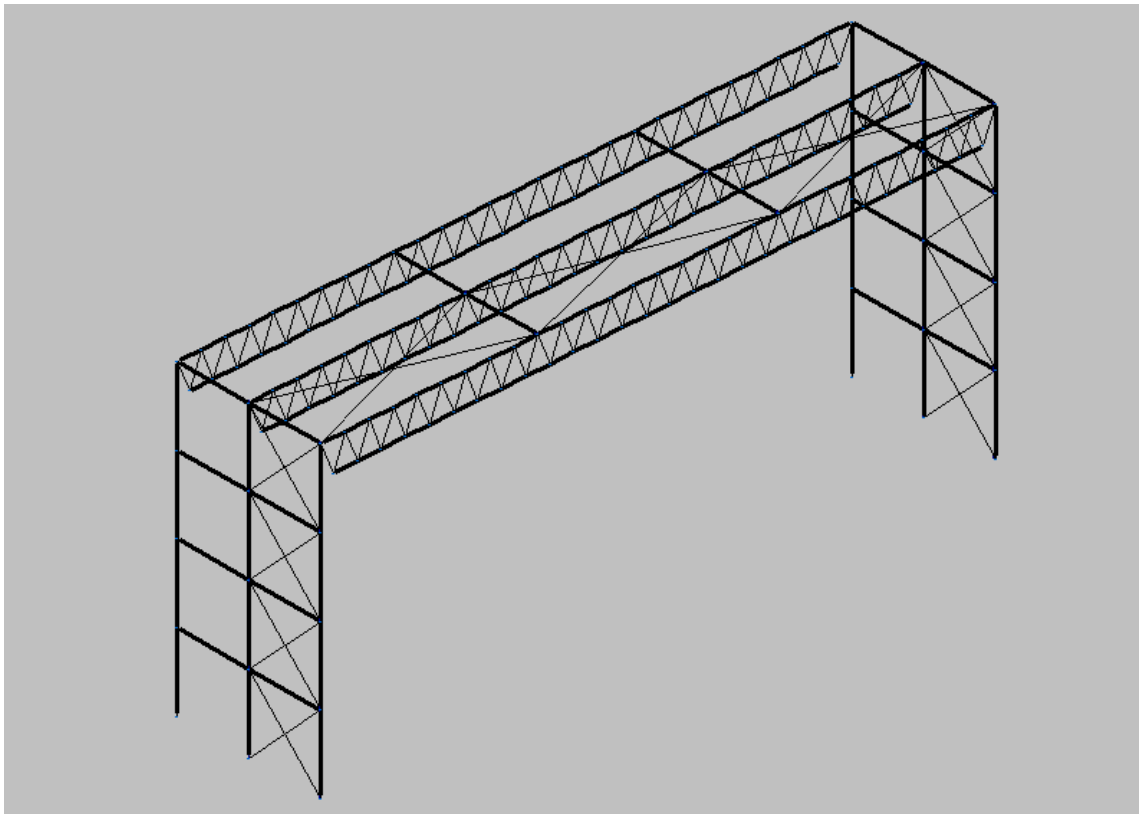


Imagen 11: Modelización realizada.

Una vez obtenidos los primeros esfuerzos se pudo comprobar que la idea inicial de elegir el acero como material para la estructura era la adecuada. El elevado valor de los esfuerzos que provocan las luces de la estructura llevaría al empleo de vigas de hormigón de gran canto en las que el peso propio pasaría a ser la carga principal. Por este motivo se diseñan en acero la mayoría de las estructuras de este tipo y la totalidad de las de grandes luces.

En cuanto a los perfiles que serán utilizados en el cálculo hay que diferenciar dos, los perfiles IPE de las vigas transversales, longitudinales, de atado y las cerchas y las correas. Su principal característica que los hace muy apropiados para estas posiciones en la alta inercia en uno de sus ejes. Y los perfiles HEB para los pilares, son similares a los perfiles IPE pero además de soportar a flexión, soportan mejor los esfuerzos a compresión porque al tener más igualadas las inercias en ambos ejes su radio de giro es mayor y por tanto lo es su resistencia al pandeo. Otra de sus características importantes es la de resistir flexión en dos direcciones perpendiculares, como las que produce el viento.

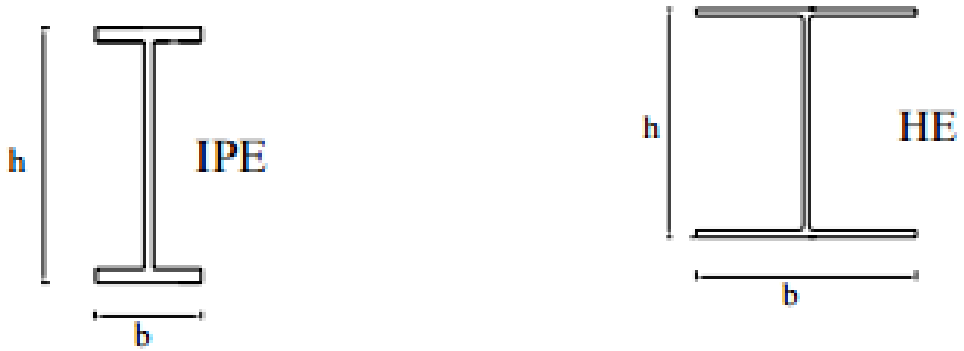


Imagen 12: Perfiles utilizados en la modelización.

Para salvar la elevada luz de los pórticos transversales que requiere la operación del hangar se ha optado por el diseño de cerchas. Una vez descartada la opción de vigas simples por la inexistencia de perfiles comerciales con la inercia necesaria, se analizó también la opción de perfiles armados. Sin embargo su peso, y por tanto precio, era mucho mayor que el de cerchas.

El factor determinante en el cálculo de naves industriales de grandes luces siempre suele ser la flecha de las vigas, cuyo valor suele estar entre L/500, pero al utilizar la cercha lo que conseguimos es discretizar la barra en tozos más pequeños, por lo que la flexión pasa a ser el factor determinante. Por lo tanto en este proyecto estructural la estructura esta dimensionada a partir de la resistencia del material.

Por ultimo en las correas de cubierta hay que tener en cuenta que son barras con una cierta inclinación, por lo que la fuerza vertical de la estructura se descompone en una tangencial y una horizontal, esta ultima de pequeño valor pues la inclinación es pequeña, pero que habrá que tener en cuenta.

5: ACCIONES SOBRE LA ESTRUCTURA

5.1. Cargas permanentes

Se designa como carga permanente al conjunto de acciones que actúan durante toda la vida de la estructura, como el peso propio de la estructura y el peso de todos los elementos que conservan una posición fija en la construcción, como los revestimientos y cerramientos.[6]

El cálculo de la carga no es difícil ya que solo se necesita el volumen de los distintos componentes y multiplicarlo por el peso específico del material. Para hallar el peso de todos los elementos de la estructura se puede consultar el anejo C del código técnico sobre acciones de la edificación (CTE-DB-AE), catálogos de fabricantes donde se obtienen los pesos de materiales, productos y elementos constructivos.

Por lo general las cargas permanentes se representan como cargas uniformes repartidas sobre el área aunque hay casos lineales y puntuales.

5.2. Acciones Variables

Las cargas variables son aquellas que no actúan constantemente en el tiempo y en el lugar. Aunque tengan un carácter móvil en general se permite su simplificación considerándolas como cargas estáticas equivalentes.[6]

Las cargas variables consideradas en el cálculo del hangar son las siguientes:

5.2.1 Sobrecarga de uso

Esta carga está formada por todos los objetos que gravitan sobre la estructura debido a su uso, por lo tanto estas cargas pueden ser generadas por personas, objetos colocados temporalmente, máquinas…[6]

Normalmente es complicado dar con exactitud un valor de todas las acciones por lo que suele recurrirse a estudios de otras estructuras de características similares.[6]

5.2.2 Carga del viento

Las cargas de viento vienen determinadas como fuerzas por unidad de superficie, son dependientes de la altura del terreno, la localización de la estructura, de la forma de la construcción y la orientación de la misma.[6]

La acción de viento, en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, qe puede expresarse como[6]:

qe = qb · ce · cp [5] siendo:

- qb la presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse 0,5 kN/m2. Pueden obtenerse valores más precisos mediante el anejo D, en función del emplazamiento geográfico de la obra. [6]

- ce el coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. En edificios urbanos de hasta 8 plantas puede tomarse un valor constante, independiente de la altura, de 2,0. [6]

- cp el coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión.[6]

Tabla 2: Valores de coeficiente de exposición.[6]

	Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
		3	6	9	12	15	18	24	30
I	Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV	Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V	Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

5.2.3 Carga de la nieve

Debida a la nieve que se acumula sobre la construcción. Depende fundamentalmente de la localización geográfica de la instalación y de la altura topográfica. También influyen factores de la estructura como la pendiente de la cubierta, su rugosidad o la existencia de petos que ayuden a la acumulación de la nieve.[6]

Como valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal, qn, puede tomarse[6]:

q n = μ · s k [6] siendo[6]:

- μ coeficiente de forma de la cubierta
- sk el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal

Tabla 3: Sobrecarga de nieve en capitales de provincia[6].

Capital	Altitud m	s_k kN/m^2	Capital	Altitud m	s_k kN/m^2	Capital	Altitud m	s_k kN/m^2
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / *Alacant*	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas-	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	tián/*Donostia*	0	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Santander	1.000	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / *Lleida*	150	0,5	Segovia	10	0,2
Bilbao / *Bilbo*	0	0,3	Logroño	380	0,6	Sevilla	1.090	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Soria	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tarragona	0	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Tenerife	950	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Teruel	550	0,5
Ciudad Real	640	0,6	Orense / *Ourense*	130	0,4	Toledo	0	0,2
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valencia/*València*	690	0,4
Coruña / *A Coruña*	0	0,3	Palencia	740	0,4	Valladolid	520	0,7
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Vitoria / *Gasteiz*	650	0,4
Gerona / *Girona*	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zamora	210	0,5
Granada	690	0,5	Pamplona/*Iruña*	450	0,7	Zaragoza	0	0,2
						Ceuta y Melilla		

6: CÁLCULO Y COMBINACIÓN DE ACCIONES SOBRE EL PÓRTICO MÁS SOLICITADO.

6.1. Representación del hangar en 3D

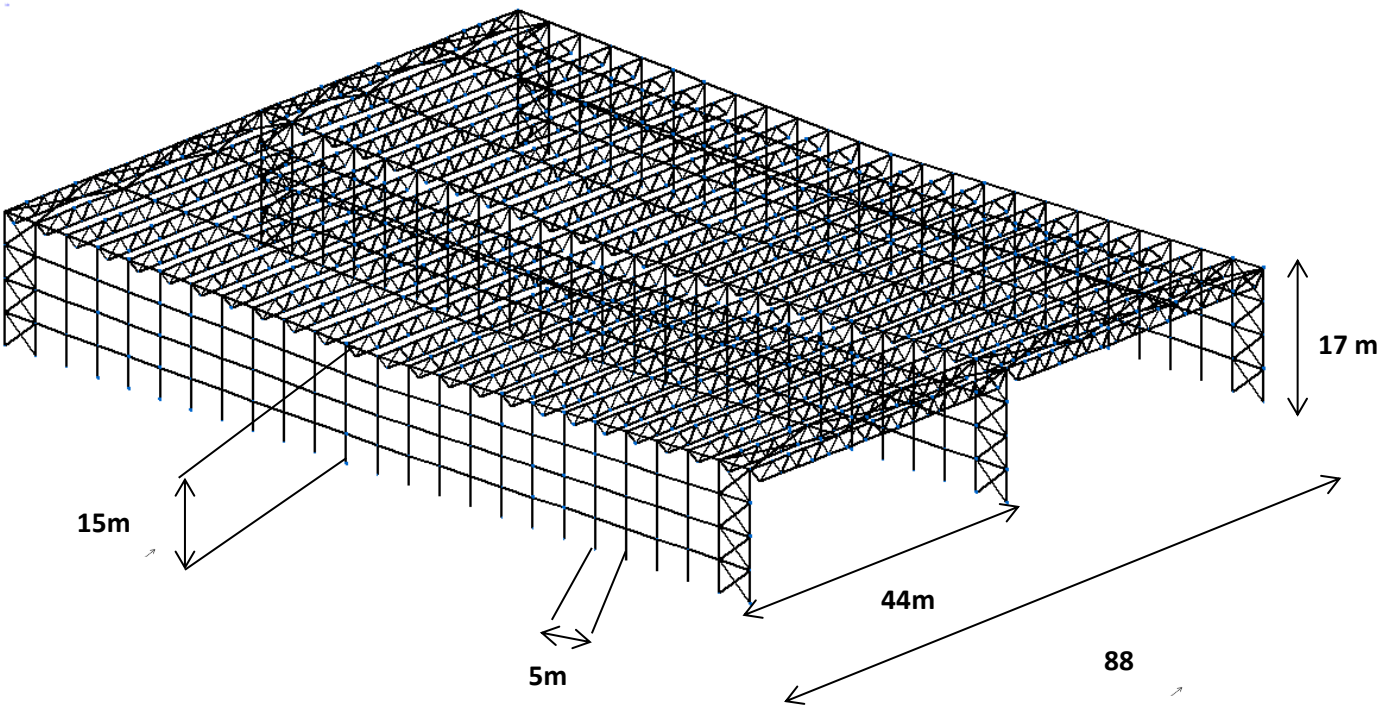


Imagen 13: Vista de hangar en 3D

Las correas de cubierta están distanciadas 1,6m y las correas laterales 2,5m

6.2. Acciones sobre el hangar

Para realizar el dimensionado del pórtico a ELU hay que conocer primero las cargas que solicitarán dicho pórtico. Estas cargas se deberán calcularse siguiendo los pasos descritos en el apartado anterior.

Inicialmente debemos ver cuál es el valor de las acciones fijas y variables que soporta la estructura:

- <u>Peso propio (CP):</u>

  Calculado de manera automática por el programa empleado en función de los perfiles de acero.

- <u>Carga muerta (CM):</u>

  Obtiene el valor de **0,4 kN/m^2**, ya que se trata de una cubierta ligera.

- <u>Sobrecarga de uso(SU):</u>

  Esta estructura pertenece a la categoría de uso G, cubiertas accesibles únicamente para conservación, con inclinación menor a 20º, por lo que tiene un valor de carga uniforme de **1 kN/m^2.**

- <u>Viento(Vto):</u>

  Como ya se explicó la carga de viento depende de la ecuación Vt =qb·ce ·cp. Por lo que hay que conocer los valores de dicha ecuación.
  - qb, como Madrid corresponde a una zona A, obtiene un valor de 0,42 kN/m2.
  - Ce, tomando que está a las afueras de Madrid por lo que se trata de una zona rural llana sin obstáculos con una altura de estructura de 20m, por lo que toma el valor 3,3 para el dintel y los pilares.
  - Cp, este coeficiente toma dos valores uno de presión y otro de succión, como se trata de una cubierta con pendiente de unos -5º, un área mayor a 10m2 los valores que toma son de 0,2 y -0,6 respectivamente para el dintel y pata los pilares 0,7 y -0,3.

  Por lo tanto las cargas de viento se dividen en:
  - **Vto1=0,42*3,3*0,2=0,277 kN/m^2** ↑
  - **Vto2=0,42*3,3*0,6=0,832 kN/m^2** ↓
  - **Vto3=0,42*3,3*0,7= 0,97 kN/m^2** →
  - **Vto4= 0,4*3,3*0,3= 0,415 kN/m^2** ←

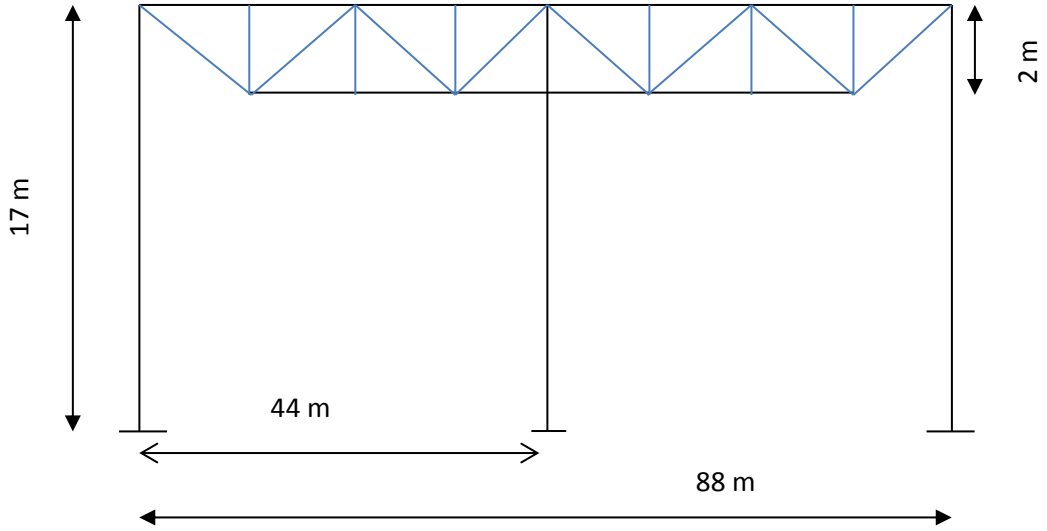
- <u>Nieve(NV):</u>

  Como ya se dijo anteriormente la carga de nieve depende de la formula NV =μ· s k, por lo que procedo a calcular los valores de la ecuación para saber cuál es la carga de nieve que soporta la estructura.
  - μ, toma el valor 1 pues la cubierta tiene inclinación menor a 30º.
  - Sk, como Madrid está a 600m de altura sobre el nivel del mar la carga de nieve sobre un terreno horizontal toma el valor de 0,6.

  Por lo que **NV=0,6 kN/m^2**

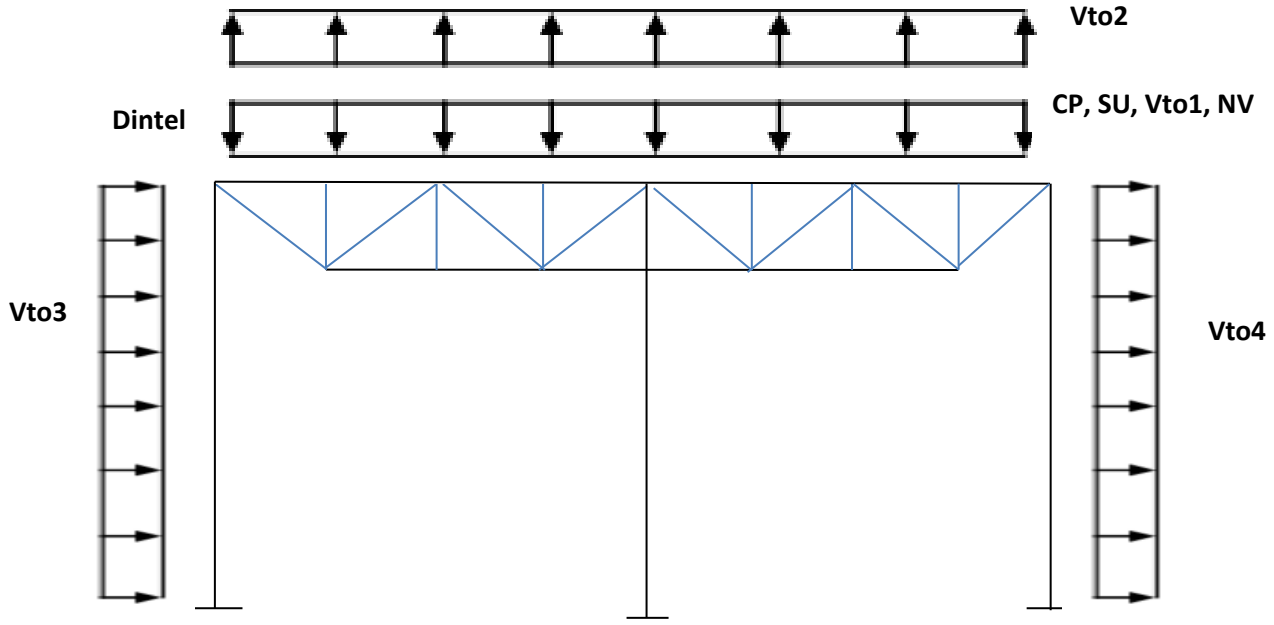
6.3. Modelo 1: Pórtico transversal.

El pórtico más solicitado será uno de los centrales por tener mayor ancho de carga, en concreto el segundo pórtico ya que tiene también mayor altura.



Una vez conocemos las cargas variables las hay que multiplicar por el ancho de carga del pórtico en este caso son 5m la separación entre pórticos:

- CP= 2 kN/m
- SU= 5 kN/m
- Vto1= 1,385 kN/m
- Vto2= 4,16 kN/m
- Vto3= 4,85 kN/m
- Vto4=2,08 kN/m
- NV= 3 kN/m



Combinaciones de las acciones variables:

1. CP*1,35+SU*1,5

2. CP*1,35+NV*1,5+Vto1*1,5*0,6

3. CP*1,35+NV*1,5+Vto2*0*0,6

4. CP*1,35+Vto1*1,5+NV*1,5*0,5

5. CP*0,8+Vto2*1,5+NV*0*0,5

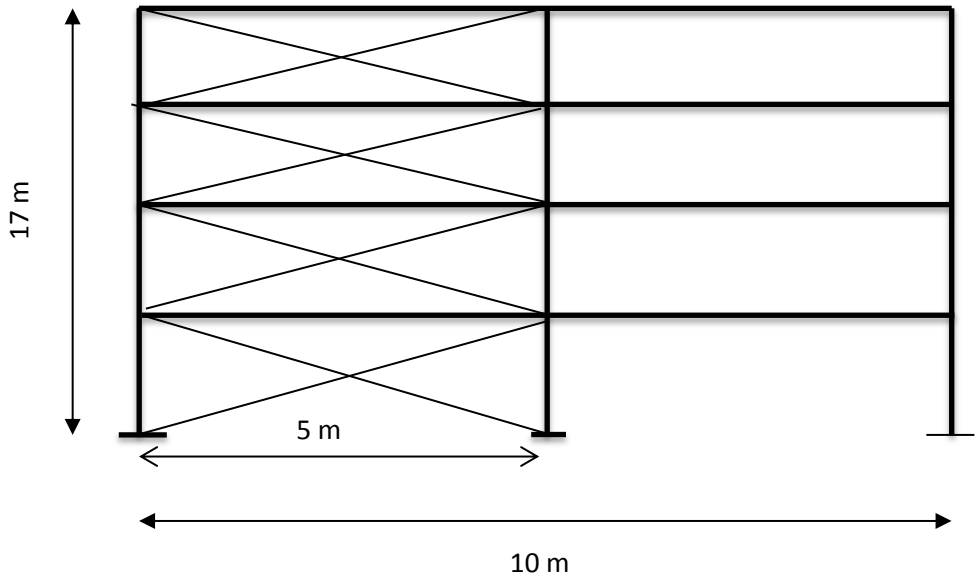
Como se trata de una estructura simétrica, dimensionaré solo un cuarto, teniendo en cuenta que el pilar central de la primera mitad transversal será doble.

Los cálculos desarrollados a través de CYPE asociado a este modelo, están asociados al anexo 1.

6.4. Modelo 2: Pórtico longitudinal

En este apartado se justifica el dimensionado del pórtico longitudinal del hangar, ya que existe una carga muy grande debida al viento que actúa sobre la puerta cuando esta está cerrada.

Como puede observarse en la esquematización siguiente es necesario añadir 3 vigas de atado debido a la esbeltez de los pilares, puesto que su altura no permitía cumplir la condición el límite de esbeltez mínima. Con estas vigas lo que buscamos en disminuir la longitud de pandeo, además se añaden tirantes para arriostrar los pilares en el eje débil, el z, impidiendo el movimiento en el plano xy.



Los cálculos que corresponden con la modelización 2 estarán adjuntados en el anexo 2.

6.5. Modelo 3: Correas de cubierta.

Las correas de cubierta se dimensionan también con la sobrecarga de uso, sin embargo ahora el ancho de carga pasa a ser de 1,6m, que es la distancia separa unas de otra.

Los cálculos sobre coreas de cubierta serán los que se presentan en el anexo 3

6.6. Modelo 4: Correa de fachada.

Correas que deben soportar el esfuerzo del viento que actúan sobre los cerramientos laterales de la nave industrial, como en las correas de cubierta se trata de una barra apoyada la cual introduciré en CYPE con la única diferencia de que en este caso solo se presenta flexión en un eje.

Los cálculos de correas de fachada obtenidos en CYPE se adjuntan en el anexo 4.

7: RESULTADOS

Como conclusión se muestra una tabla donde se ven reflejados los resultados obtenidos en el dimensionado, entre paréntesis se muestra los tramos en los que se ha dividido la barra debido a vigas de atado o a tramos de la cercha, en el caso de las correas se muestra la distancia con la que han sido diseñadas

Tabla 4: Resultados obtenidos

Barra dimensionada	Perfil obtenido	Longitud de la barra (m)
Pilar	HE 320 B	17 (4 tramos de 4,25m)
Viga transversal superior	IPE 450	44(28 tramos de 1,571m)
Viga transversal inferior	IPE 450	40,8 (26 tramos de 1,571m)
Vigas de la cercha	IPE 270	2,149
Viga longitudinal	IPE 270	60 (30 tramos de 5m)
Viga de atado lateral	IPE 270	60 (30 tramos de 5m)
Viga de atado en cubierta	IPE 270	60 (30 tramos de 5m)
Arrostramiento lateral	R 34	6,250
Arrostramiento en cubierta	R 19	15
Correas en cubierta	IPE 200	60 (30 tramos de 5m, separadas 1,6m)
Correas laterales o de fachada	IPE 180	60 (30 tramos de 5m, separadas 2,5m)

La estructura final estará constituida por 48 pilares exteriores y 24 pilares interiores que serán el doble que los exteriores ya que por el método de resolución utilizada, basada en la simetría que presentaba el hangar solo se dimensiono la mitad del pórtico transversal.

48 vigas transversales superiores e inferiores de 44 y 40,8 metros respectivamente.

6 vigas longitudinales de 60 metros cada una.

8: PRESUPUESTO

En este proyecto me centro en el presupuesto que conlleva la estructura metálica en particular, dejando de lado la cimentación y demás parámetros.

Lo primero es elegir el acero, en este caso se trata de un acero E4435115 S275JR según UNE-EN 10025-2, para vigas formadas por pieza simple, en perfiles laminados en caliente serie IPN, IPE, HEB, HEA, HEM y UPN, trabajado en taller y con una capa de imprimación antioxidante, colocado en obra con soldadura. El precio de este material está en 1,5 €/kg y una densidad de 7,85 kg/m^3.

Tabla 5: Perfiles utilizados

Perfil	Peso por metros (kg/m)	Longitud (m)	Peso (kg)
HE 320 B	127	1.224	155.448
IPE 450	77,6	4.070,4	315.863,04
IPE 270	36,1	7.096,512	256.184,083
IPE 200	22,4	6.600	147.840
IPE 180	18,8	2.160	40.608
Total			**915.943,123**

Sabiendo lo que pesa la estructura en total, que son 915.943,123 kg, y como el hangar de largo mide 120m y de ancho 88m tenemos el área que ocupa, que son 1.0560m^2. Por lo tanto al saber el precio de acero por kilogramo obtenemos un valor de toda la estructura de **1.373.914,685€.**

Para recubrir la estructura se utilizara una chapa sándwich de 40 mm de espesor cuyo precio para el modelo seleccionado es de 26,96 €/m^2 Incluyendo el suministro y la colocación. Por tanto el importe de ejecución de los 13.732m^2 de panel, incluyendo el cerramiento lateral y la cubierta, asciende a la cantidad de **370.214,72 €.**

El importe total del conjunto de estructura y cerramiento es de **1.744.129,405€.**

9: Bibliografía

1. GUERRERO SUADES, F. (2014). ESTRUCTURAS TEMPORALES AERONÁUTICAS: HANGAR HINCHABLE. p.57. Available at: http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/22251 [Accessed 11 Jun. 2016].

2. CARREÑO MUÑOZ, E. (2010). DISEÑO SIMPLIFICADO DE UN HANGAR RETRÁCTIL PARA PROTEGER UN HELICÓPTERO DE RESCATE. p.129. Available at: http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/10811 [Accessed 20 May 2016].

3. Vuela sin Miedo. (2011). Mantenimiento de Aviones. [online] Available at: https://vuelasinmiedo.es/aviacion/mantenimiento-de-aviones/ [Accessed 12 Jun. 2016].
4. Código técnico. [online] Available at: http://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-cte/menu-presentacion [Accessed 12 Jun. 2016].
5. Código técnico DBSE. [online] Available at: http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE.pdf [Accessed 11 Jun. 2016].
6. Código técnico DBSE-AE. [online] Available at: http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf [Accessed 12 Jun. 2016].
7. Código técnico DBSE-A. [online] Available at: http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-A.pdf [Accessed 12 Jun. 2016].
8. RECIO FERNÁNDEZ, F. (2012). CALCULO DE NAVE INDUSTRIAL MEDIANTE CYPE METAL 3D CLASICO PARA ALMACENAMIENTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCION. 1st ed. [ebook] Leganés, p.185. Available at: http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/15283 [Accessed 23 Jul. 2016].
9. RODRÍGUEZ AMOR, D. (2009). APLICACIÓN DE CONCEPTOS Y HERRAMIENTAS LEAN EN MRO DE UNA EMPRESA DE MANTENIMIENTO AERONÁUTICO. 1st ed. [ebook] Leganés, p.587. Available at: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/8226/PFC_David_Rodriguez_Amor.pdf?sequence=1 [Accessed 20 Jul. 2016].
10. Hangar de mantenimiento de aeronaves e instalaciones auxiliares. (2014).

11. Iberiamaintenance.com. (2016). [Mantenimiento de Aviones] - Iberia Maintenance. [online] Available at: http://www.iberiamaintenance.com/portal/site/mantenimientov2/menuitem.0db55baade8450697c8fd010d21061ca/ [Accessed 20 Jun. 2016].

12. Senasa.es. (2016). SERVICIOS Y ESTUDIOS PARA LA NAVEGACIÓN AÉREA Y LA SEGURIDAD AERONÁUTICA S.A.. [online] Available at: http://www.senasa.es/portada.aspx?lang=es-ES&IDPagina=29 [Accessed 20 Jun. 2016].

13. Wbdg.org. (2016). Aviation Hangar | Whole Building Design Guide. [online] Available at: http://wbdg.org/design/aviation_hangar.php [Accessed 20 Jun. 2016].

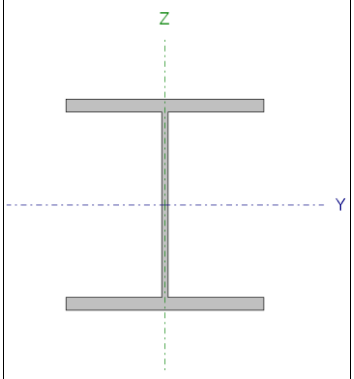
10: ANEXOS

Cálculos a estados limite último de CYPE 3D 2016

Anexo 1: Barras pésimas en el modelo transversal.

1. Pilar

Perfil: HE 320 B
Material: Acero (S275)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N237	N372	4.250	161.30	30820.00	9239.00	225.10

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	2.00	0.00	1.00	0.64
L_K	8.500	0.000	3.750	2.400
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N237/N372	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 4.25 m η = 3.7	x: 0 m η = 22.5	x: 0 m η = 57.4	x: 0 m η = 18.1	x: 0 m η = 10.4	η = 0.8	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 77.0	η < 0.1	η = 0.2	x: 0 m η = 10.2	η = 0.7	**CUMPLE η = 77.0**

Notación:
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***1.12*** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : *1*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : *161.30* cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y :	*265.00*	MPa
N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.	N_{cr} :	*3404.25*	kN

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.	$N_{cr,y}$:	∞	
b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.	$N_{cr,z}$:	*3404.25*	kN
c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.	$N_{cr,T}$:	*19620.34*	kN

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y :	*30820.00*	cm4
I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z :	*9239.00*	cm4
I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t :	*225.10*	cm4
I_w: Constante de alabeo de la sección.	I_w :	*2069000.00*	cm6
E: Módulo de elasticidad.	E :	*210000*	MPa
G: Módulo de elasticidad transversal.	G :	*81000*	MPa
L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky} :	*0.000*	m
L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} :	*8.500*	m
L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} :	*4.250*	m
i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i_0 :	*15.76*	cm

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	i_y :	*13.82*	cm
	i_z :	*7.57*	cm
y_0 , z_0: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	y_0 :	*0.00*	mm
	z_0 :	*0.00*	mm

<u>Abolladura del alma inducida por el ala comprimida</u> (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

24.26 ≤ 171.71 ✓

Donde:

$\mathbf{h_w}$: Altura del alma.	$\mathbf{h_w}$:	*279.00*	mm
$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma.	$\mathbf{t_w}$:	*11.50*	mm
$\mathbf{A_w}$: Área del alma.	$\mathbf{A_w}$:	*32.09*	cm²
$\mathbf{A_{fc,ef}}$: Área reducida del ala comprimida.	$\mathbf{A_{fc,ef}}$:	*61.50*	cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.	**k** :	*0.30*	
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
$\mathbf{f_{vf}}$: Límite elástico del acero del ala comprimida.	$\mathbf{f_{vf}}$:	*265.00*	MPa

Siendo:

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.037*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N372, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H3.

$\mathbf{N_{t,Ed}}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{N_{t,Ed}}$: *149.35* kN

La resistencia de cálculo a tracción $\mathbf{N_{t,Rd}}$ viene dada por:

$\mathbf{N_{t,Rd}}$: *4070.90* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.	**A** :	*161.30*	cm²
$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero.	$\mathbf{f_{vd}}$:	*252.38*	MPa

Siendo:

$\mathbf{f_v}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$\mathbf{f_v}$:	*265.00*	MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} :	*1.05*	

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.106*** ✓

η : ***0.225*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N237, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H4+0.75·N(EI).

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *433.26* kN

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$N_{c,Rd}$: *4070.90* kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *1*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *161.30* cm²

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *252.38* MPa

Siendo:

f_v: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_v** : *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: *1927.29* kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *161.30* cm²

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *252.38* MPa

Siendo:

f_v: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_v** : *265.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_z : *0.47*

χ_T : *0.86*

Siendo:

ϕ_z : *1.35*

ϕ_T : *0.67*

α: Coeficiente de imperfección elástica. α_z : *0.49*

α_T : *0.49*

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_z$: *1.12*

$\bar{\lambda}_T$: *0.47*

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: **N_{cr}** : *3404.25* kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : ∞

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *3404.25* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : *19620.34* kN

<u>Resistencia a flexión eje Y</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.535*** ✓

η : ***0.574*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N237, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H4.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^+** : *290.07* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N237, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H1+0.75·N(EI).

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^-** : *228.45* kN·m

El momento flector resistente de cálculo **$M_{c,Rd}$** viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *542.37* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,y}$** : *2149.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *252.38* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
El momento flector resistente de cálculo $\mathbf{M_{b,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{M_{b,Rd}^{+}}$: *505.26* kN·m

$\mathbf{M_{b,Rd}^{-}}$: *526.91* kN·m

Donde:

$\mathbf{W_{pl,y}}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $\mathbf{W_{pl,y}}$: *2149.00* cm³

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *252.38* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *265.00* MPa

$\gamma_{\mathbf{M1}}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{\mathbf{M1}}$: *1.05*

$\chi_{\mathbf{LT}}$: Factor de reducción por pandeo lateral.

$\chi_{\mathbf{LT}}^{+}$: *0.93*

$\chi_{\mathbf{LT}}^{-}$: *0.97*

Siendo:

$\phi_{\mathbf{LT}}^{+}$: *0.64*

$\phi_{\mathbf{LT}}^{-}$: *0.57*

$\alpha_{\mathbf{LT}}$: Coeficiente de imperfección elástica. $\alpha_{\mathbf{LT}}$: *0.21*

$\bar{\lambda}_{\mathbf{LT}}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_{\mathbf{LT}}^{+}$: *0.48*

$\bar{\lambda}_{\mathbf{LT}}^{-}$: *0.33*

$\mathbf{M_{cr}}$: Momento crítico elástico de pandeo lateral. $\mathbf{M_{cr}^{+}}$: *2514.20* kN·m

$\mathbf{M_{cr}^{-}}$: *5379.61* kN·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral $\mathbf{M_{cr}}$ se determina según la teoría de la elasticidad:

Siendo:

$\mathbf{M_{LTv}}$: Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$\mathbf{M_{LTv}^{+}}$: *1575.69* kN·m

$\mathbf{M_{LTv}^{-}}$: *2462.02* kN·m

$\mathbf{M_{LTw}}$: Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$\mathbf{M_{LTw}^{+}}$: *1959.19* kN·m

M_{LTw}^{-} : *4783.17* kN·m

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida. — $W_{el,y}$: *1926.25* cm³

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. — I_z : *9239.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. — I_t : *225.10* cm4

E: Módulo de elasticidad. — **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : *81000* MPa

L_c^+: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. — L_c^+ : *4.250* m

L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. — L_c^- : *2.400* m

C_1: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. — C_1 : *1.00*

$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida. — $i_{f,z}^+$: *8.31* cm

$i_{f,z}^-$: *8.31* cm

<u>Resistencia a flexión eje Z</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.181*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N237, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H3+0.75·N(EI).

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — M_{Ed}^+ : *41.39* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N237, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H4.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — M_{Ed}^- : *42.79* kN·m

El momento flector resistente de cálculo **$M_{c,Rd}$** viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *237.01* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. — **Clase** : *1*

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. — $W_{pl,z}$: *939.10* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : *252.38* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.104*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N237, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H3+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *78.17* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *753.73* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : *51.73* cm²

Siendo:

h: Canto de la sección. **h** : *320.00* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *11.50* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *252.38* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

19.57 < **65.92** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : *19.57*

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{máx}$: *65.92*

ε: Factor de reducción. ε : *0.94*

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. f_{ref} : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *265.00* MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.008*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H4.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *14.19* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *1882.82* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : *129.22* cm²

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : *161.30* cm²

d: Altura del alma. **d** : *279.00* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *11.50* mm

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{vd} : *252.38* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

78.17 kN ≤ 376.87 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H3+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *78.17* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{c,Rd}$** : *753.73* kN

<u>Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **$V_{c,Rd}$**.

14.19 kN ≤ 941.41 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H4.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *14.19* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{c,Rd}$** : *1882.82* kN

<u>Resistencia a flexión y axil combinados</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.633*** ✓

η : ***0.592*** ✓

η : ***0.770*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N237, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H3+0.75·N(EI).

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *367.38* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo **$M_{y,Ed}^{-}$** : *200.81* kN·m

pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{z,Ed}^{-}$: *40.92* kN·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : *1*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd}$: *4070.90* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y}$: *542.37* kN·m

$M_{pl,Rd,z}$: *237.01* kN·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : *161.30* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$W_{pl,y}$: *2149.00* cm³

$W_{pl,z}$: *939.10* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *252.38* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *265.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : *1.05*

k_y, k_z, $k_{y,LT}$: Coeficientes de interacción.

k_y : *1.00*

k_z : *1.27*

$k_{y,LT}$: *0.97*

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$, $C_{m,LT}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$C_{m,y}$: *1.00*

$C_{m,z}$: *1.00*

$C_{m,LT}$: *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : *1.00*

χ_z : *0.47*

χ_{LT}: Coeficiente de reducción por pandeo lateral. χ_{LT} : *1.00*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y$: *0.00*

$\bar{\lambda}_z$: *1.12*

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : *0.60*

α_z : *0.60*

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H3+0.75·N(EI).

78.17 kN ≤ 376.87 kN ✓

Donde:

$\mathbf{V_{Ed,z}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed,z}}$: *78.17* kN

$\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: *753.73* kN

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

η : ***0.002*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H3.

$\mathbf{M_{T,Ed}}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{T,Ed}}$: *0.03* kN·m

El momento torsor resistente de cálculo $\mathbf{M_{T,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{M_{T,Rd}}$: *16.00* kN·m

Donde:

$\mathbf{W_T}$: Módulo de resistencia a torsión. $\mathbf{W_T}$: *109.80* cm³

$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{vd}}$: *252.38* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.102*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N237, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H3+0.75·N(R).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *77.16* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. **$M_{T,Ed}$** : *0.01* kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **$V_{pl,T,Rd}$** viene dado por:

$V_{pl,T,Rd}$: *753.45* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{pl,Rd}$** : *753.73* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed}$: *0.14* MPa

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. **W_T** : *109.80* cm³

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *252.38* MPa

Siendo:

f_v: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_v** : *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.007*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H3+0.75·N(R).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *13.42* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. **$M_{T,Ed}$** : *0.01* kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **$V_{pl,T,Rd}$** viene dado por:

$V_{pl,T,Rd}$: *1882.12* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{pl,Rd}$** : *1882.82* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed}$: *0.14* MPa

Siendo:

$\mathbf{W_T}$: Módulo de resistencia a torsión. $\mathbf{W_T}$: *109.80* cm³

$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{vd}}$: *252.38* MPa

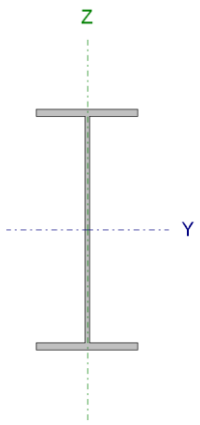
Siendo:

$\mathbf{f_v}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_v}$: *265.00* MPa

$\gamma_{\mathbf{M0}}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{\mathbf{M0}}$: *1.05*

2. Viga superior

Perfil: IPE 450
Material: Acero (S275)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_v (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N267	N269	1.571	98.80	33740.00	1676.00	66.90

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	0.00	1.02	1.00
L_K	1.571	0.000	1.600	1.571
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N267/N269	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	η = 23.5	η = 53.8	x: 0.786 m η = 9.8	x: 0 m η = 4.1	x: 0 m η = 1.1	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.786 m η = 64.6	η < 0.1	η = 0.1	x: 1.571 m η = 0.2	η < 0.1	**CUMPLE η = 64.6**

Notación:
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***0.43*** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *4*

A_{ef}: Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4. **A_{ef}** : *93.67* cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr}** : *14067.07* kN

El axil crítico de pandeo elástico $\mathbf{N_{cr}}$ es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $\mathbf{N_{cr,y}}$: ∞

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $\mathbf{N_{cr,z}}$: *14067.07* kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $\mathbf{N_{cr,T}}$: *19377.12* kN

Donde:

$\mathbf{I_y}$: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	$\mathbf{I_y}$:	*33740.00*	cm4
$\mathbf{I_z}$: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	$\mathbf{I_z}$:	*1676.00*	cm4
$\mathbf{I_t}$: Momento de inercia a torsión uniforme.	$\mathbf{I_t}$:	*66.90*	cm4
$\mathbf{I_w}$: Constante de alabeo de la sección.	$\mathbf{I_w}$:	*791000.00*	cm6
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
G: Módulo de elasticidad transversal.	**G** :	*81000*	MPa
$\mathbf{L_{ky}}$: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	$\mathbf{L_{ky}}$:	*0.000*	m
$\mathbf{L_{kz}}$: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	$\mathbf{L_{kz}}$:	*1.571*	m
$\mathbf{L_{kt}}$: Longitud efectiva de pandeo por torsión.	$\mathbf{L_{kt}}$:	*1.600*	m
$\mathbf{i_0}$: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	$\mathbf{i_0}$:	*18.93*	cm

Siendo:

$\mathbf{i_y}$, $\mathbf{i_z}$: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	$\mathbf{i_y}$:	*18.48*	cm
	$\mathbf{i_z}$:	*4.12*	cm
$\mathbf{y_0}$, $\mathbf{z_0}$: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	$\mathbf{y_0}$:	*0.00*	mm
	$\mathbf{z_0}$:	*0.00*	mm

<u>Abolladura del alma inducida por el ala comprimida</u> (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

44.77 ≤ 273.56 ✓

Donde:

$\mathbf{h_w}$: Altura del alma.	$\mathbf{h_w}$:	*420.80*	mm
$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma.	$\mathbf{t_w}$:	*9.40*	mm
$\mathbf{A_w}$: Área del alma.	$\mathbf{A_w}$:	*39.56*	cm²
$\mathbf{A_{fc,ef}}$: Área reducida del ala comprimida.	$\mathbf{A_{fc,ef}}$:	*27.74*	cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.	**k** :	*0.30*	
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
$\mathbf{f_{vf}}$: Límite elástico del acero del ala comprimida.	$\mathbf{f_{vf}}$:	*275.00*	MPa

Siendo:

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.235*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

$\mathbf{N_{t,Ed}}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{N_{t,Ed}}$: *607.27* kN

La resistencia de cálculo a tracción $\mathbf{N_{t,Rd}}$ viene dada por:

$\mathbf{N_{t,Rd}}$: *2587.62* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.	**A** :	*98.80*	cm²
$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero.	$\mathbf{f_{vd}}$:	*261.90*	MPa

Siendo:

$\mathbf{f_v}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$\mathbf{f_v}$:	*275.00*	MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} :	*1.05*	

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.492*** ✓

η : ***0.538*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(180°)H2+1.5·N(EI).

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *1207.87* kN

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$N_{c,Rd}$: *2453.21* kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *4*

A_{ef}: Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4. **A_{ef}** : *93.67* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: *2244.30* kN

Donde:

A_{ef}: Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4. **A_{ef}** : *93.67* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_z : *0.91*

χ_T : *0.94*

Siendo:

ϕ_z : *0.63*

ϕ_T : *0.59*

α: Coeficiente de imperfección elástica. α_z : *0.34*

α_T : *0.34*

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_z$: *0.43*

$\bar{\lambda}_T$: *0.36*

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: **N_{cr}** : *14067.07* kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : ∞

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *14067.07* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : *19377.12* kN

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.098*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.786 m del nudo N267, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(180°)H2+1.5·N(EI).

M_{Ed}^{+}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^{+}** : *43.65* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.786 m del nudo N267, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

M_{Ed}^{-}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^{-}** : *20.13* kN·m

El momento flector resistente de cálculo **$M_{c,Rd}$** viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *445.76* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,y}$** : *1702.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}_{LT}$: *0.39*

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral.

M_{cr}^{+} : *3074.70* kN·m
M_{cr}^{-} : *3183.13* kN·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral **M_{cr}** se determina según la teoría de la elasticidad:

Siendo:

M_{LTv}: Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

M_{LTv}^{+} : *857.50* kN·m

M_{LTv}^{-} : *873.09* kN·m

M_{LTw}: Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

M_{LTw}^{+} : *2952.71* kN·m

M_{LTw}^{-} : *3061.06* kN·m

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida. — $W_{el,v}$: *1499.56* cm³

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. — I_z : *1676.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. — I_t : *66.90* cm4

E: Módulo de elasticidad. — **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : *81000* MPa

L_c^{+}: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. — L_c^{+} : *1.600* m

L_c^{-}: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. — L_c^{-} : *1.571* m

C_1: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. — C_1 : *1.00*

$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$i_{f,z}^{+}$: *4.93* cm

$i_{f,z}^{-}$: *4.93* cm

<u>Resistencia a flexión eje Z</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.041*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N267, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

$\mathbf{M_{Ed}^{+}}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{Ed}^{+}}$: *2.88* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N267, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H2+0.75·N(EI).

$\mathbf{M_{Ed}^{-}}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{Ed}^{-}}$: *2.97* kN·m

El momento flector resistente de cálculo $\mathbf{M_{c,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{M_{c,Rd}}$: *72.29* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$\mathbf{W_{pl,z}}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $\mathbf{W_{pl,z}}$: *276.00* cm³

$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{vd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_v}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_v}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.011*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N267, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(0°)H2+1.5·N(EI).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *8.27* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: *768.52* kN

Donde:

$\mathbf{A_v}$: Área transversal a cortante. $\mathbf{A_v}$: *50.82* cm²

Siendo:

h: Canto de la sección. **h** : *450.00* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *9.40* mm

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{vd} : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

40.30 < **64.71** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : *40.30*

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{máx}$: *64.71*

ε: Factor de reducción. ε : *0.92*

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. f_{ref} : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *275.00* MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η < ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H2.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *0.06* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *895.85* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : *59.24* cm²

Siendo:

A: Área de la sección bruta.	**A** :	*98.80* cm²
d: Altura del alma.	**d** :	*420.80* mm
$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma.	$\mathbf{t_w}$:	*9.40* mm

$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{vd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$\mathbf{f_y}$:	*275.00* MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} :	*1.05*

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

8.27 kN ≤ 384.26 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(0°)H2+1.5·N(EI).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *8.27* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *768.52* kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

0.06 kN ≤ 447.92 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H2.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.06* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *895.85* kN

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.598*** ✓

η : ***0.603*** ✓

η : ***0.646*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.786 m del nudo N267, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(90°)H2+1.5·N(EI).

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. — **$N_{c,Ed}$** : *1177.60* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. — **$M_{y,Ed}^{+}$** : *42.20* kN·m; **$M_{z,Ed}^{+}$** : *1.64* kN·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. — **Clase** : *3*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. — **$N_{pl,Rd}$** : *2587.62* kN

$M_{el,Rd,y}$, $M_{el,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones elásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. — **$M_{el,Rd,y}$** : *392.74* kN·m; **$M_{el,Rd,z}$** : *46.21* kN·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. — **A** : *98.80* cm²

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — **$W_{el,y}$** : *1499.56* cm³; **$W_{el,z}$** : *176.42* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M1} : *1.05*

k_y, k_z, $k_{y,LT}$: Coeficientes de interacción.

k_y : *1.00*

k_z : *1.13*

$k_{y,LT}$: *0.99*

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$, $C_{m,LT}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$C_{m,y}$: *1.00*
$C_{m,z}$: *1.00*
$C_{m,LT}$: *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : *1.00*
χ_z : *0.91*

χ_{LT}: Coeficiente de reducción por pandeo lateral.
$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.
α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

χ_{LT} : *1.00*
$\bar{\lambda}_y$: *0.00*
$\bar{\lambda}_z$: *0.44*
α_y : *0.80*
α_z : *1.00*

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(0°)H2+1.5·N(EI).

8.27 kN ≤ 384.26 kN ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed,z}$: *8.27* kN
$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd,z}$: *768.52* kN

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

η : ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H2.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed}$: *0.01* kN·m

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$M_{T,Rd}$: *6.93* kN·m

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. W_T : *45.82* cm³

$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{vd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.002*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N269, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H4+0.75·N(R).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *1.35* kN

$\mathbf{M_{T,Ed}}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{T,Ed}}$: *0.00* kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$: *768.34* kN

Donde:

$\mathbf{V_{pl,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{pl,Rd}}$: *768.52* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed}$: *0.09* MPa

Siendo:

$\mathbf{W_T}$: Módulo de resistencia a torsión. $\mathbf{W_T}$: *45.82* cm³

$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{vd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η < ***0.001*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H4+0.75·N(R).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *0.06* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. **$M_{T,Ed}$** : *0.00* kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **$V_{pl,T,Rd}$** viene dado por:

$V_{pl,T,Rd}$: *895.63* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{pl,Rd}$** : *895.85* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. **$\tau_{T,Ed}$** : *0.09* MPa

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. **W_T** : *45.82* cm³

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

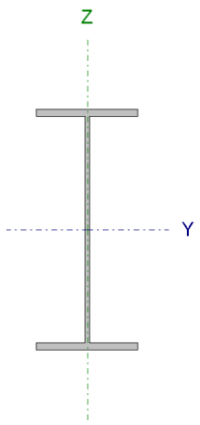
Siendo:

f_v: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_v** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

3. Viga inferior

Perfil: IPE 450
Material: Acero (S275)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_v (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N266	N268	1.571	98.80	33740.00	1676.00	66.90

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	1.00	1.00
L_K	1.571	1.571	1.571	1.571
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N266/N268	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	η = 45.6	η = 21.1	x: 1.571 m η = 9.8	x: 0 m η = 6.0	x: 0 m η = 0.4	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.375 m η = 56.9	η < 0.1	η = 0.1	x: 0 m η = 0.1	η < 0.1	**CUMPLE η = 56.9**

Notación:
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***0.43*** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *4*

A_{ef}: Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4. **A_{ef}** : *93.67* cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr}** : *14067.07* kN

El axil crítico de pandeo elástico $\mathbf{N_{cr}}$ es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $\mathbf{N_{cr,y}}$: *283187.83* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $\mathbf{N_{cr,z}}$: *14067.07* kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $\mathbf{N_{cr,T}}$: *20032.67* kN

Donde:

$\mathbf{I_y}$: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. $\mathbf{I_y}$: *33740.00* cm4

$\mathbf{I_z}$: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. $\mathbf{I_z}$: *1676.00* cm4

$\mathbf{I_t}$: Momento de inercia a torsión uniforme. $\mathbf{I_t}$: *66.90* cm4

$\mathbf{I_w}$: Constante de alabeo de la sección. $\mathbf{I_w}$: *791000.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *81000* MPa

$\mathbf{L_{ky}}$: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. $\mathbf{L_{ky}}$: *1.571* m

$\mathbf{L_{kz}}$: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. $\mathbf{L_{kz}}$: *1.571* m

$\mathbf{L_{kt}}$: Longitud efectiva de pandeo por torsión. $\mathbf{L_{kt}}$: *1.571* m

$\mathbf{i_0}$: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. $\mathbf{i_0}$: *18.93* cm

Siendo:

$\mathbf{i_y}$, $\mathbf{i_z}$: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. $\mathbf{i_y}$: *18.48* cm; $\mathbf{i_z}$: *4.12* cm

$\mathbf{y_0}$, $\mathbf{z_0}$: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección. $\mathbf{y_0}$: *0.00* mm; $\mathbf{z_0}$: *0.00* mm

<u>Abolladura del alma inducida por el ala comprimida</u> (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\mathbf{44.77 \leq 273.56}$$ ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.	**h_w** :	*420.80*	mm
t_w: Espesor del alma.	**t_w** :	*9.40*	mm
A_w: Área del alma.	**A_w** :	*39.56*	cm²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	**$A_{fc,ef}$** :	*27.74*	cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.	**k** :	*0.30*	
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
f_{vf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.	**f_{vf}** :	*275.00*	MPa

Siendo:

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.456*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(180°)H2+1.5·N(EI).

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. **$N_{t,Ed}$** : *1180.80* kN

La resistencia de cálculo a tracción **$N_{t,Rd}$** viene dada por:

$N_{t,Rd}$: *2587.62* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.	**A** :	*98.80*	cm²
f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero.	**f_{vd}** :	*261.90*	MPa

Siendo:

f_v: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	**f_v** :	*275.00*	MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	**γ_{M0}** :	*1.05*	

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.193*** ✓

η : ***0.211*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *473.60* kN

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$N_{c,Rd}$: *2453.21* kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *4*

A_{ef}: Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4. **A_{ef}** : *93.67* cm²

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: *2244.30* kN

Donde:

A_{ef}: Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4. **A_{ef}** : *93.67* cm²

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_y : *1.00*

χ_z : *0.91*

χ_T : *0.94*

Siendo:

ϕ_y : *0.49*

ϕ_z : *0.63*

ϕ_T : *0.59*

α: Coeficiente de imperfección elástica. α_y : *0.21*

α_z : *0.34*
α_T : *0.34*

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_y$: *0.10*
$\bar{\lambda}_z$: *0.43*
$\bar{\lambda}_T$: *0.36*

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: **N_{cr}** : *14067.07* kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : *283187.83* kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *14067.07* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : *20032.67* kN

<u>Resistencia a flexión eje Y</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.098*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N268, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(0°)H2+1.5·N(EI).

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^+** : *43.76* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N268, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^-** : *20.14* kN·m

El momento flector resistente de cálculo **$M_{c,Rd}$** viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *445.76* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,y}$** : *1702.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}_{LT}$: *0.38*

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral. — M_{cr} : *3183.13* kN·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral **M_{cr}** se determina según la teoría de la elasticidad:

Siendo:

M_{LTv}: Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

M_{LTv} : *873.09* kN·m

M_{LTw}: Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

M_{LTw} : *3061.06* kN·m

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida. — $W_{el,v}$: *1499.56* cm³

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. — I_z : *1676.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. — I_t : *66.90* cm4

E: Módulo de elasticidad. — **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : *81000* MPa

L_c^+: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. — L_c^+ : *1.571* m

L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. — L_c^- : *1.571* m

C_1: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. — C_1 : *1.00*

$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida. — $i_{f,z}^+$: *4.93* cm

$i_{f,z}^-$: *4.93* cm

<u>Resistencia a flexión eje Z</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.060*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N266, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

M_{Ed}^{+}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^{+} : *4.28* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N266, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H2+0.75·N(EI).

M_{Ed}^{-}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^{-} : *4.35* kN·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *72.29* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,z}$: *276.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.004*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N266, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *3.00* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *768.52* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : *50.82* cm²

Siendo:

h: Canto de la sección. **h** : *450.00* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *9.40* mm

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{vd} : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

40.30 < **64.71** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : *40.30*

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{máx}$: *64.71*

ε: Factor de reducción. ε : *0.92*

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. f_{ref} : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *275.00* MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η < ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H2.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *0.25* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *895.85* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : *59.24* cm²

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : *98.80* cm²

d: Altura del alma. **d** : *420.80* mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : *9.40* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

<u>Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **$V_{c,Rd}$**.

3.00 kN ≤ 384.26 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *3.00* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{c,Rd}$** : *768.52* kN

<u>Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **$V_{c,Rd}$**.

0.25 kN ≤ 447.92 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H2.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *0.25* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{c,Rd}$** : *895.85* kN

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.569*** ✓

η : ***0.032*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.375 m del nudo N266, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(90°)H2+1.5·N(EI).

Donde:

$\mathbf{N_{t,Ed}}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.	$\mathbf{N_{t,Ed}}$:	*1144.70*	kN
$\mathbf{M_{y,Ed}}$, $\mathbf{M_{z,Ed}}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$\mathbf{M_{y,Ed}^{+}}$:	*42.19*	kN·m
	$\mathbf{M_{z,Ed}^{+}}$:	*2.31*	kN·m
Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	**Clase** :	*1*	
$\mathbf{N_{pl,Rd}}$: Resistencia a tracción.	$\mathbf{N_{pl,Rd}}$:	*2587.62*	kN
$\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$, $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	$\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$:	*445.76*	kN·m
	$\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$:	*72.29*	kN·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$\mathbf{M_{ef,Ed}}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.	$\mathbf{M_{ef,Ed}}$:	*0.00*	kN·m

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.	$\sigma_{com,Ed}$:	*0.00*	MPa
$\mathbf{W_{y,com}}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.	$\mathbf{W_{y,com}}$:	*1702.00*	cm³
A: Área de la sección bruta.	**A** :	*98.80*	cm²
$\mathbf{M_{b,Rd,y}}$: Momento flector resistente de cálculo.	$\mathbf{M_{b,Rd,y}}$:	*415.71*	kN·m

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(EI).

3.00 kN ≤ 384.26 kN ✓

Donde:

$\mathbf{V_{Ed,z}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed,z}}$: *3.00* kN

$\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: *768.52* kN

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

η : ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H4.

$\mathbf{M_{T,Ed}}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{T,Ed}}$: *0.01* kN·m

El momento torsor resistente de cálculo $\mathbf{M_{T,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{M_{T,Rd}}$: *6.93* kN·m

Donde:

$\mathbf{W_T}$: Módulo de resistencia a torsión. $\mathbf{W_T}$: *45.82* cm³

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.001*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N266, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H4+0.75·N(R).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.92* kN

$\mathbf{M_{T,Ed}}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{T,Ed}}$: *0.01* kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$ viene dado por:

$V_{pl,T,Rd}$: *768.20* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{pl,Rd}$: *768.52* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed}$: *0.15* MPa

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. W_T : *45.82* cm³

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{vd} : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$\eta <$ ***0.001*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H4+0.75·N(R).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *0.25* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed}$: *0.01* kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$V_{pl,T,Rd}$: *895.48* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{pl,Rd}$: *895.85* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed}$: *0.15* MPa

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. W_T : *45.82* cm³

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{vd} : *261.90* MPa

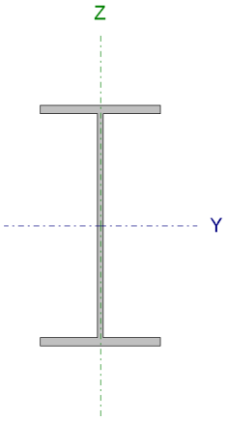
Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

4. Cercha

Perfil: IPE 270
Material: Acero (S275)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_v (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N241	N238	2.149	45.90	5790.00	420.00	15.90

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	1.00	1.00
L_K	2.149	2.149	2.149	2.149
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N241/N238	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 2.149 m η = 14.4	x: 0 m η = 3.9	x: 2.149 m η = 31.6	x: 2.149 m η = 32.4	x: 0 m η = 6.0	η = 0.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 2.149 m η = 61.3	η < 0.1	η = 2.6	x: 0 m η = 3.8	η = 0.5	**CUMPLE η = 61.3**

Notación:
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***0.82*** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *2*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *45.90* cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr}** : *1885.28* kN

El axil crítico de pandeo elástico $\mathbf{N_{cr}}$ es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $\mathbf{N_{cr,y}}$: *25989.93* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $\mathbf{N_{cr,z}}$: *1885.28* kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $\mathbf{N_{cr,T}}$: *3294.28* kN

Donde:

$\mathbf{I_y}$: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	$\mathbf{I_y}$:	*5790.00*	cm4
$\mathbf{I_z}$: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	$\mathbf{I_z}$:	*420.00*	cm4
$\mathbf{I_t}$: Momento de inercia a torsión uniforme.	$\mathbf{I_t}$:	*15.90*	cm4
$\mathbf{I_w}$: Constante de alabeo de la sección.	$\mathbf{I_w}$:	*70600.00*	cm6
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
G: Módulo de elasticidad transversal.	**G** :	*81000*	MPa
$\mathbf{L_{ky}}$: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	$\mathbf{L_{ky}}$:	*2.149*	m
$\mathbf{L_{kz}}$: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	$\mathbf{L_{kz}}$:	*2.149*	m
$\mathbf{L_{kt}}$: Longitud efectiva de pandeo por torsión.	$\mathbf{L_{kt}}$:	*2.149*	m
$\mathbf{i_0}$: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	$\mathbf{i_0}$:	*11.63*	cm

Siendo:

$\mathbf{i_y}$, $\mathbf{i_z}$: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	$\mathbf{i_y}$:	*11.23*	cm
	$\mathbf{i_z}$:	*3.02*	cm
$\mathbf{y_0}$, $\mathbf{z_0}$: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	$\mathbf{y_0}$:	*0.00*	mm
	$\mathbf{z_0}$:	*0.00*	mm

<u>Abolladura del alma inducida por el ala comprimida</u> (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\mathbf{37.82 \leq 250.57} \checkmark$$

Donde:

$\mathbf{h_w}$: Altura del alma.	$\mathbf{h_w}$:	*249.60*	mm
$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma.	$\mathbf{t_w}$:	*6.60*	mm
$\mathbf{A_w}$: Área del alma.	$\mathbf{A_w}$:	*16.47*	cm²
$\mathbf{A_{fc,ef}}$: Área reducida del ala comprimida.	$\mathbf{A_{fc,ef}}$:	*13.77*	cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.	**k** :	*0.30*	
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
$\mathbf{f_{vf}}$: Límite elástico del acero del ala comprimida.	$\mathbf{f_{vf}}$:	*275.00*	MPa

Siendo:

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.144*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N238, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(90°)H2+1.5·N(EI).

$\mathbf{N_{t,Ed}}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{N_{t,Ed}}$: *173.01* kN

La resistencia de cálculo a tracción $\mathbf{N_{t,Rd}}$ viene dada por:

$\mathbf{N_{t,Rd}}$: *1202.14* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.	**A** :	*45.90*	cm²
$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero.	$\mathbf{f_{vd}}$:	*261.90*	MPa

Siendo:

$\mathbf{f_v}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$\mathbf{f_v}$:	*275.00*	MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} :	*1.05*	

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.028*** ✓

η : ***0.039*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N241, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H3.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *33.37* kN

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$N_{c,Rd}$: *1202.14* kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *2*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *45.90* cm²

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_v: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_v** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: *857.28* kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *45.90* cm²

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_v: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_v** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_y : *1.00*

χ_z : *0.71*

χ_T : *0.83*

Siendo:

ϕ_y : *0.53*

ϕ_z : *0.94*

ϕ_T : *0.76*

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : *0.21*

α_z : *0.34*

α_T : *0.34*

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_y$: *0.22*

$\bar{\lambda}_z$: *0.82*

$\bar{\lambda}_T$: *0.62*

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: **N_{cr}** : *1885.28* kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : *25989.93* kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *1885.28* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : *3294.28* kN

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.271*** ✓

η : ***0.316*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N238, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^+** : *32.27* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N238, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(EI).

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^-** : *34.35* kN·m

El momento flector resistente de cálculo **$M_{c,Rd}$** viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *126.76* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,y}$** : *484.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

El momento flector resistente de cálculo $\mathbf{M_{b,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{M_{b,Rd}}$: *108.73* kN·m

Donde:

$\mathbf{W_{pl,y}}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $\mathbf{W_{pl,y}}$: *484.00* cm³

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : *1.05*

χ_{LT}: Factor de reducción por pandeo lateral.

χ_{LT} : *0.86*

Siendo:

ϕ_{LT} : *0.78*

α_{LT}: Coeficiente de imperfección elástica. α_{LT} : *0.21*

$\bar{\lambda}_{LT}$: *0.68*

$\mathbf{M_{cr}}$: Momento crítico elástico de pandeo lateral. $\mathbf{M_{cr}}$: *289.42* kN·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral $\mathbf{M_{cr}}$ se determina según la teoría de la elasticidad:

Siendo:

$\mathbf{M_{LTv}}$: Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$\mathbf{M_{LTv}}$: *155.82* kN·m

$\mathbf{M_{LTw}}$: Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$\mathbf{M_{LTw}}$: *243.90* kN·m

Siendo:

$\mathbf{W_{el,y}}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida. $\mathbf{W_{el,y}}$: *428.89* cm³

$\mathbf{I_z}$: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. $\mathbf{I_z}$: *420.00* cm4

$\mathbf{I_t}$: Momento de inercia a torsión uniforme. $\mathbf{I_t}$: *15.90* cm4

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *81000* MPa

L_c^+: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. L_c^+ : *2.149* m

L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. L_c^- : *2.149* m

C_1: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. C_1 : *1.00*

$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida. $i_{f,z}^+$: *3.56* cm

$i_{f,z}^-$: *3.56* cm

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.324*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N238, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H3.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^+ : *8.22* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N238, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H4+0.75·N(EI).

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^- : *8.23* kN·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *25.40* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,z}$: *97.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.060*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N241, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *19.96* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *334.07* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : *22.09* cm²

Siendo:

h: Canto de la sección. **h** : *270.00* mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : *6.60* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

33.27 < **64.71** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : *33.27*

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{máx}$: *64.71*

ε: Factor de reducción. ε : *0.92*

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. **f_{ref}** : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.005*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H4+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *2.38* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *444.96* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : *29.43* cm²

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : *45.90* cm²

d: Altura del alma. **d** : *249.60* mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : *6.60* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **$V_{c,Rd}$**.

19.96 kN ≤ 167.04 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *19.96* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{c,Rd}$** : *334.07* kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

2.38 kN ≤ 222.48 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H4+0.75·N(EI).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *2.38* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *444.96* kN

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.613*** ✓

η : ***0.531*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N238, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H1+0.75·N(EI).

Donde:

$\mathbf{N_{t,Ed}}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{N_{t,Ed}}$: *74.51* kN

$\mathbf{M_{y,Ed}}$, $\mathbf{M_{z,Ed}}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $\mathbf{M_{y,Ed}^{+}}$: *28.84* kN·m; $\mathbf{M_{z,Ed}^{-}}$: *8.22* kN·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : *1*

$\mathbf{N_{pl,Rd}}$: Resistencia a tracción. $\mathbf{N_{pl,Rd}}$: *1202.14* kN

$\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$, $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$: *126.76* kN·m; $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: *25.40* kN·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$\mathbf{M_{ef,Ed}}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{ef,Ed}}$: *22.55* kN·m

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida. $\sigma_{com,Ed}$: *46.60* MPa

$\mathbf{W_{y,com}}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y. $\mathbf{W_{y,com}}$: *484.00* cm³

A: Área de la sección bruta. **A** : *45.90* cm²

$\mathbf{M_{b,Rd,y}}$: Momento flector resistente de cálculo. $\mathbf{M_{b,Rd,y}}$: *108.73* kN·m

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

19.96 kN ≤ 167.04 kN ✓

Donde:

$\mathbf{V_{Ed,z}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed,z}}$: *19.96* kN

$\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: *334.07* kN

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

η : ***0.026*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H2.

$\mathbf{M_{T,Ed}}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{T,Ed}}$: *0.06* kN·m

El momento torsor resistente de cálculo $\mathbf{M_{T,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{M_{T,Rd}}$: *2.36* kN·m

Donde:

$\mathbf{W_T}$: Módulo de resistencia a torsión. $\mathbf{W_T}$: *15.59* cm³

$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{vd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.038*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N241, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H4+0.75·N(R).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *12.40* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. **$M_{T,Ed}$** : *0.06* kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **$V_{pl,T,Rd}$** viene dado por:

$V_{pl,T,Rd}$: *330.53* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{pl,Rd}$** : *334.07* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed}$: *3.99* MPa

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. **W_T** : *15.59* cm³

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.005*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H4+0.75·N(R).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *2.25* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. **$M_{T,Ed}$** : *0.06* kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **$V_{pl,T,Rd}$** viene dado por:

$\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$: *440.23* kN

Donde:

$\mathbf{V_{pl,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{pl,Rd}}$: *444.96* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed}$: *3.99* MPa

Siendo:

$\mathbf{W_T}$: Módulo de resistencia a torsión. $\mathbf{W_T}$: *15.59* cm³

$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{vd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

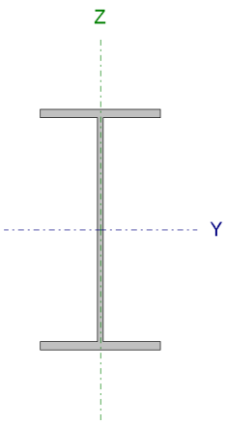
$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Anexo 2: Barra pésima en modelo longitudinal

1. Viga longitudinal

Perfil: IPE 270
Material: Acero (S275)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N2	N61	5.000	45.90	5790.00	420.00	15.90

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	5.000	5.000	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N2/N61	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	$\eta = 1.3$	$\eta = 14.6$	x: 0 m $\eta = 8.0$	x: 0 m $\eta = 55.7$	x: 5 m $\eta = 1.2$	$\eta = 0.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 86.6$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.2$	x: 5 m $\eta = 0.4$	$\eta = 0.1$	**CUMPLE $\eta = 86.6$**

Notación:
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***1.90*** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *2*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *45.90* cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — **f_y** : *275.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. — **N_{cr}** : *348.20* kN

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. — **$N_{cr,y}$** : *4800.18* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. — **$N_{cr,z}$** : *348.20* kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. — **$N_{cr,T}$** : ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. — **I_y** : *5790.00* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. — **I_z** : *420.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. — **I_t** : *15.90* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. — **I_w** : *70600.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. — **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : *81000* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. — **L_{ky}** : *5.000* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. — **L_{kz}** : *5.000* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. — **L_{kt}** : *0.000* m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. — **i_0** : *11.63* cm

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. — **i_y** : *11.23* cm; **i_z** : *3.02* cm

y_0 , z_0: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección. — **y_0** : *0.00* mm; **z_0** : *0.00* mm

<u>Abolladura del alma inducida por el ala comprimida</u> (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

37.82 ≤ 250.57 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.	**h_w** :	*249.60*	mm
t_w: Espesor del alma.	**t_w** :	*6.60*	mm
A_w: Área del alma.	**A_w** :	*16.47*	cm²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	**$A_{fc,ef}$** :	*13.77*	cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.	**k** :	*0.30*	
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
f_{vf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.	**f_{vf}** :	*275.00*	MPa

Siendo:

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.013*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H3.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. **$N_{t,Ed}$** : *16.05* kN

La resistencia de cálculo a tracción **$N_{t,Rd}$** viene dada por:

$N_{t,Rd}$: *1202.14* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.	**A** :	*45.90*	cm²
f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero.	**f_{vd}** :	*261.90*	MPa

Siendo:

f_v: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	**f_v** :	*275.00*	MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	**γ_{M0}** :	*1.05*	

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.033*** ✓

η : ***0.146*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(EI).

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *40.18* kN

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$N_{c,Rd}$: *1202.14* kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *2*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *45.90* cm²

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_v: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_v** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: *274.71* kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *45.90* cm²

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_v: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_v** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_y : *0.92*

χ_z : *0.23*

Siendo:

ϕ_y : *0.66*

ϕ_z : *2.60*

α: Coeficiente de imperfección elástica. α_y : *0.21*

α_z : *0.34*

–

λ: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_y$: *0.51*

$\bar{\lambda}_z$: *1.90*

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: — N_{cr} : *348.20* kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. — $N_{cr,y}$: *4800.18* kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. — $N_{cr,z}$: *348.20* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. — $N_{cr,T}$: ∞

<u>Resistencia a flexión eje Y</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.080*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H3.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — M_{Ed}^+ : *8.38* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(EI).

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — M_{Ed}^- : *10.20* kN·m

El momento flector resistente de cálculo **$M_{c,Rd}$** viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *126.76* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. — **Clase** : *1*

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. — $W_{pl,y}$: *484.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.557*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(EI).

M_{Ed}^{+}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^{+}** : *14.15* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H3.

M_{Ed}^{-}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^{-}** : *12.83* kN·m

El momento flector resistente de cálculo **$M_{c,Rd}$** viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *25.40* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,z}$** : *97.00* cm³

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.012*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N61, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H3.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *4.06* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *334.07* kN

Donde:

$\mathbf{A_v}$: Área transversal a cortante. $\mathbf{A_v}$: *22.09* cm²

Siendo:

$\mathbf{h}$: Canto de la sección. $\mathbf{h}$: *270.00* mm

$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma. $\mathbf{t_w}$: *6.60* mm

$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{vd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

$\gamma_{\mathbf{M0}}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{\mathbf{M0}}$: *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

33.27 < **64.71** ✓

Donde:

$\lambda_{\mathbf{w}}$: Esbeltez del alma. $\lambda_{\mathbf{w}}$: *33.27*

$\lambda_{\mathbf{máx}}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{\mathbf{máx}}$: *64.71*

ε: Factor de reducción. ε : *0.92*

Siendo:

$\mathbf{f_{ref}}$: Límite elástico de referencia. $\mathbf{f_{ref}}$: *235.00* MPa

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.009*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(EI).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *4.15* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: *444.96* kN

Donde:

$\mathbf{A_v}$: Área transversal a cortante. $\mathbf{A_v}$: *29.43* cm²

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : *45.90* cm²

d: Altura del alma. **d** : *249.60* mm

$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma. $\mathbf{t_w}$: *6.60* mm

$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{vd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

4.05 kN ≤ 167.04 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(EI).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *4.05* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *334.07* kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

4.15 kN ≤ 222.48 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *4.15* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{c,Rd}$** : *444.96* kN

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.671*** ✓

η : ***0.520*** ✓

η : ***0.866*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(EI).

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *40.18* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. **$M_{y,Ed}^{-}$** : *10.20* kN·m; **$M_{z,Ed}^{+}$** : *14.15* kN·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : *1*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. **$N_{pl,Rd}$** : *1202.14* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. **$M_{pl,Rd,y}$** : *126.76* kN·m; **$M_{pl,Rd,z}$** : *25.40* kN·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : *45.90* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **$W_{pl,y}$** : *484.00* cm³; **$W_{pl,z}$** : *97.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.05*

$\mathbf{k_y}$, $\mathbf{k_z}$: Coeficientes de interacción.

$\mathbf{k_y}$: *1.01*

$\mathbf{k_z}$: *1.20*

$\mathbf{C_{m,y}}$, $\mathbf{C_{m,z}}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$\mathbf{C_{m,y}}$: *1.00*
$\mathbf{C_{m,z}}$: *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : *0.92*
χ_z : *0.23*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y$: *0.51*
$\bar{\lambda}_z$: *1.90*

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : *0.60*
α_z : *0.60*

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(EI).

4.05 kN ≤ 167.04 kN ✓

Donde:

$\mathbf{V_{Ed,z}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed,z}}$: *4.05* kN

$\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: *334.07* kN

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

η : ***0.002*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.9·V(180°)H2+1.5·N(EI).

$\mathbf{M_{T,Ed}}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{T,Ed}}$: *0.00* kN·m

El momento torsor resistente de cálculo $\mathbf{M_{T,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{M_{T,Rd}}$: *2.36* kN·m

Donde:

$\mathbf{W_T}$: Módulo de resistencia a torsión. $\mathbf{W_T}$: *15.59* cm³

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

$\gamma_{\mathbf{M0}}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{\mathbf{M0}}$: *1.05*

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.004*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N61, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(R).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *1.39* kN

$\mathbf{M_{T,Ed}}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{T,Ed}}$: *0.00* kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$: *333.95* kN

Donde:

$\mathbf{V_{pl,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{pl,Rd}}$: *334.07* kN

$\tau_{\mathbf{T,Ed}}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{\mathbf{T,Ed}}$: *0.14* MPa

Siendo:

$\mathbf{W_T}$: Módulo de resistencia a torsión. $\mathbf{W_T}$: *15.59* cm³

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

$\gamma_{\mathbf{M0}}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{\mathbf{M0}}$: *1.05*

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.001*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(R).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *0.25* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. **$M_{T,Ed}$** : *0.00* kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **$V_{pl,T,Rd}$** viene dado por:

$V_{pl,T,Rd}$: *444.79* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{pl,Rd}$** : *444.96* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed}$: *0.14* MPa

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. **W_T** : *15.59* cm³

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

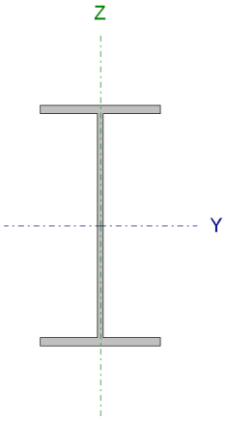
Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

2. Viga de atado latera

Perfil: IPE 270
Material: Acero (S275)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_v (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N367	N369	5.000	45.90	5790.00	420.00	15.90

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	5.000	5.000	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N367/N369	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	x: 0.313 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	η = 5.8	η = 91.6	x: 5 m η = 1.6	x: 5 m η = 1.5	x: 5 m η = 0.5	η < 0.1	x: 0.313 m η < 0.1	x: 0.313 m η < 0.1	x: 5 m η = 94.6	x: 0.313 m η < 0.1	M_{Ed} = 0.00 N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	**CUMPLE η = 94.6**

Notación:
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
(1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
(2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***1.90*** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *2*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *45.90* cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr}** : *348.20* kN

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : *4800.18* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *348.20* kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. **I_y** : *5790.00* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. **I_z** : *420.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. **I_t** : *15.90* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. **I_w** : *70600.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *81000* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. **L_{ky}** : *5.000* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **L_{kz}** : *5.000* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. **L_{kt}** : *0.000* m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. **i_0** : *11.63* cm

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. **i_y** : *11.23* cm **i_z** : *3.02* cm

y_0 , z_0: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección. **y_0** : *0.00* mm **z_0** : *0.00* mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

37.82 ≤ 250.57 ✓

Donde:

$\mathbf{h_w}$: Altura del alma.	$\mathbf{h_w}$:	*249.60*	mm
$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma.	$\mathbf{t_w}$:	*6.60*	mm
$\mathbf{A_w}$: Área del alma.	$\mathbf{A_w}$:	*16.47*	cm²
$\mathbf{A_{fc,ef}}$: Área reducida del ala comprimida.	$\mathbf{A_{fc,ef}}$:	*13.77*	cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.	**k** :	*0.30*	
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
$\mathbf{f_{vf}}$: Límite elástico del acero del ala comprimida.	$\mathbf{f_{vf}}$:	*275.00*	MPa

Siendo:

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.058*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(EI).

$\mathbf{N_{t,Ed}}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{N_{t,Ed}}$: *69.98* kN

La resistencia de cálculo a tracción $\mathbf{N_{t,Rd}}$ viene dada por:

$\mathbf{N_{t,Rd}}$: *1202.14* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.	**A** :	*45.90*	cm²
$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero.	$\mathbf{f_{vd}}$:	*261.90*	MPa

Siendo:

$\mathbf{f_v}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$\mathbf{f_v}$:	*275.00*	MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} :	*1.05*	

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.209*** ✓

η : ***0.916*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H4.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *251.71* kN

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$N_{c,Rd}$: *1202.14* kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *2*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *45.90* cm²

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: *274.71* kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *45.90* cm²

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_y : *0.92*

χ_z : *0.23*

Siendo:

ϕ_y : *0.66*

ϕ_z : *2.60*

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : *0.21*

α_z : *0.34*

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_y$: *0.51*

$\bar{\lambda}_z$: *1.90*

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: **N_{cr}** : *348.20* kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : *4800.18* kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *348.20* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : ∞

<u>Resistencia a flexión eje Y</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.016*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N369, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H4+0.75·N(EI).

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^+** : *0.01* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N369, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H3.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^-** : *2.05* kN·m

El momento flector resistente de cálculo **$M_{c,Rd}$** viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *126.76* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,y}$** : *484.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.015*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N369, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H3+0.75·N(EI).

M_{Ed}^{+}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — M_{Ed}^{+} : *0.37* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N369, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H4.

M_{Ed}^{-}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — M_{Ed}^{-} : *0.15* kN·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *25.40* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. — **Clase** : *1*

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. — $W_{pl,z}$: *97.00* cm³

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{vd} : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.005*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N369, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H3.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *1.60* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *334.07* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : *22.09* cm²

Siendo:

h: Canto de la sección. **h** : *270.00* mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : *6.60* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

33.27 < **64.71** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. **λ_w** : *33.27*

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. **$\lambda_{máx}$** : *64.71*

ε: Factor de reducción. **ε** : *0.92*

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. **f_{ref}** : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$\eta <$ ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H3+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *0.07* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *444.96* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : *29.43* cm²

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : *45.90* cm²

d: Altura del alma. **d** : *249.60* mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : *6.60* mm

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **$V_{c,Rd}$**.

0.94 kN ≤ 167.04 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N367, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H4+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *0.94* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{c,Rd}$** : *334.07* kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **$V_{c,Rd}$**.

0.07 kN ≤ 222.48 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N367, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H3+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *0.07* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{c,Rd}$** : *444.96* kN

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.225*** ✓

η : ***0.248*** ✓

η : ***0.946*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N369, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H4.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *251.71* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. **$M_{y,Ed}^{-}$** : *0.51* kN·m **$M_{z,Ed}^{+}$** : *0.31* kN·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : *2*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. **$N_{pl,Rd}$** : *1202.14* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en **$M_{pl,Rd,y}$** : *126.76* kN·m

condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,z}$: *25.40* kN·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : *45.90* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$W_{pl,y}$: *484.00* cm³

$W_{pl,z}$: *97.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : *1.05*

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

k_y : *1.07*

k_z : *2.28*

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$C_{m,y}$: *1.00*

$C_{m,z}$: *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : *0.92*

χ_z : *0.23*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y$: *0.51*

$\bar{\lambda}_z$: *1.90*

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : *0.60*

α_z : *0.60*

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N367, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H4+0.75·N(EI).

0.94 kN ≤ 167.04 kN ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed,z}$: *0.94* kN

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd,z}$: *334.07* kN

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

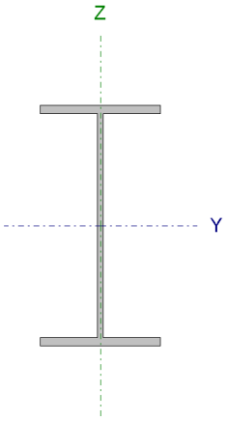
No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

3. Viga de atado en cubierta

Perfil: IPE 270
Material: Acero (S275)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_v (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N259	N318	5.000	45.90	5790.00	420.00	15.90

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	0.00	0.00	0.00
L_K	5.000	0.000	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N259/N318	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	x: 0 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	η = 1.4	η = 7.1	x: 0 m η = 17.9	x: 0 m η = 3.8	x: 5 m η = 1.7	η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η = 19.6	x: 0 m η < 0.1	M_{Ed} = 0.00 N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	**CUMPLE η = 19.6**

Notación:
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
(1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
(2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***1.90*** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : *2*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.	**A** :	*45.90*	cm²
$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$\mathbf{f_y}$:	*275.00*	MPa
$\mathbf{N_{cr}}$: Axil crítico de pandeo elástico.	$\mathbf{N_{cr}}$:	*348.20*	kN

El axil crítico de pandeo elástico $\mathbf{N_{cr}}$ es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $\mathbf{N_{cr,y}}$: ∞

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $\mathbf{N_{cr,z}}$: *348.20* kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $\mathbf{N_{cr,T}}$: ∞

Donde:

$\mathbf{I_y}$: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	$\mathbf{I_y}$:	*5790.00*	cm4
$\mathbf{I_z}$: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	$\mathbf{I_z}$:	*420.00*	cm4
$\mathbf{I_t}$: Momento de inercia a torsión uniforme.	$\mathbf{I_t}$:	*15.90*	cm4
$\mathbf{I_w}$: Constante de alabeo de la sección.	$\mathbf{I_w}$:	*70600.00*	cm6
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
G: Módulo de elasticidad transversal.	**G** :	*81000*	MPa
$\mathbf{L_{ky}}$: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	$\mathbf{L_{ky}}$:	*0.000*	m
$\mathbf{L_{kz}}$: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	$\mathbf{L_{kz}}$:	*5.000*	m
$\mathbf{L_{kt}}$: Longitud efectiva de pandeo por torsión.	$\mathbf{L_{kt}}$:	*0.000*	m
$\mathbf{i_0}$: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	$\mathbf{i_0}$:	*11.63*	cm

Siendo:

$\mathbf{i_y}$, $\mathbf{i_z}$: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	$\mathbf{i_y}$:	*11.23*	cm
	$\mathbf{i_z}$:	*3.02*	cm
$\mathbf{y_0}$, $\mathbf{z_0}$: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	$\mathbf{y_0}$:	*0.00*	mm
	$\mathbf{z_0}$:	*0.00*	mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

37.82 ≤ 250.57 ✓

Donde:

$\mathbf{h_w}$: Altura del alma.	$\mathbf{h_w}$:	*249.60*	mm
$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma.	$\mathbf{t_w}$:	*6.60*	mm
$\mathbf{A_w}$: Área del alma.	$\mathbf{A_w}$:	*16.47*	cm²
$\mathbf{A_{fc,ef}}$: Área reducida del ala comprimida.	$\mathbf{A_{fc,ef}}$:	*13.77*	cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.	**k** :	*0.30*	
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
$\mathbf{f_{vf}}$: Límite elástico del acero del ala comprimida.	$\mathbf{f_{vf}}$:	*275.00*	MPa

Siendo:

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.014*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H3+0.75·N(EI).

$\mathbf{N_{t,Ed}}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{N_{t,Ed}}$: *16.25* kN

La resistencia de cálculo a tracción $\mathbf{N_{t,Rd}}$ viene dada por:

$\mathbf{N_{t,Rd}}$: *1202.14* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.	**A** :	*45.90*	cm²
$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero.	$\mathbf{f_{vd}}$:	*261.90*	MPa

Siendo:

$\mathbf{f_v}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$\mathbf{f_v}$:	*275.00*	MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} :	*1.05*	

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.016*** ✓

η : ***0.071*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *19.64* kN

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$N_{c,Rd}$: *1202.14* kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *2*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *45.90* cm²

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_v: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_v** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: *274.71* kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *45.90* cm²

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_v: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_v** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_z : *0.23*

Siendo:

ϕ_z : *2.60*

α: Coeficiente de imperfección elástica. α_z : *0.34*

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_z$: *1.90*

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: **N_{cr}** : *348.20* kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : ∞

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *348.20* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : ∞

<u>Resistencia a flexión eje Y</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.179*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N259, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(EI).

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^+** : *22.70* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N259, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^-** : *15.85* kN·m

El momento flector resistente de cálculo **$M_{c,Rd}$** viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *126.76* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,y}$** : *484.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.038*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N259, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H3.

M_{Ed}^{+}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — M_{Ed}^{+} : *0.95* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N259, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(EI).

M_{Ed}^{-}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — M_{Ed}^{-} : *0.97* kN·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *25.40* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. — **Clase** : *1*

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. — $W_{pl,z}$: *97.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.017*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N318, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *5.73* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *334.07* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : *22.09* cm²

Siendo:

h: Canto de la sección. **h** : *270.00* mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : *6.60* mm

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

33.27 < **64.71** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. **λ_w** : *33.27*

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. **$\lambda_{máx}$** : *64.71*

ε: Factor de reducción. **ε** : *0.92*

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. **f_{ref}** : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$\eta <$ ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *0.19* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *444.96* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : *29.43* cm²

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : *45.90* cm²

d: Altura del alma. **d** : *249.60* mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : *6.60* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **$V_{c,Rd}$**.

4.34 kN ≤ 167.04 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N259, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *4.34* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{c,Rd}$** : *334.07* kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

0.19 kN ≤ 222.48 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N259, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(EI).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.19* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *444.96* kN

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.196*** ✓

η : ***0.194*** ✓

η : ***0.166*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N259, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(EI).

Donde:

$\mathbf{N_{c,Ed}}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{N_{c,Ed}}$: *14.83* kN

$\mathbf{M_{y,Ed}}$, $\mathbf{M_{z,Ed}}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $\mathbf{M_{y,Ed}^{+}}$: *22.70* kN·m; $\mathbf{M_{z,Ed}^{-}}$: *0.10* kN·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : *1*

$\mathbf{N_{pl,Rd}}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $\mathbf{N_{pl,Rd}}$: *1202.14* kN

$\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$, $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$: *126.76* kN·m; $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: *25.40* kN·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. — **A** : *45.90* cm²

$\mathbf{W_{pl,y}}$, $\mathbf{W_{pl,z}}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$\mathbf{W_{pl,y}}$: *484.00* cm³

$\mathbf{W_{pl,z}}$: *97.00* cm³

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. — $\mathbf{f_{yd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M1} : *1.05*

$\mathbf{k_y}$, $\mathbf{k_z}$: Coeficientes de interacción.

$\mathbf{k_y}$: *1.00*

$\mathbf{k_z}$: *1.08*

$\mathbf{C_{m,y}}$, $\mathbf{C_{m,z}}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$\mathbf{C_{m,y}}$: *1.00*

$\mathbf{C_{m,z}}$: *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : *1.00*

χ_z : *0.23*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y$: *0.00*

$\bar{\lambda}_z$: *1.90*

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : *0.60*

α_z : *0.60*

<u>Resistencia a flexión, axil y cortante combinados</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N259, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H1.

4.34 kN ≤ 167.04 kN ✓

Donde:

$\mathbf{V_{Ed,z}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. — $\mathbf{V_{Ed,z}}$: *4.34* kN

$\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. — $\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: *334.07* kN

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

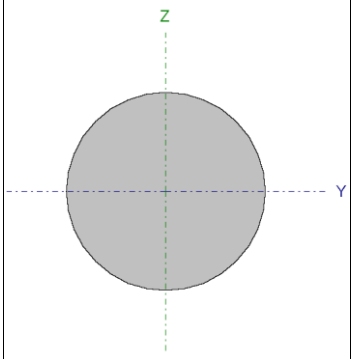
No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

4. Arrostramiento lateral

Perfil: R 34
Material: Acero (S275)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	$I_v^{(1)}$ (cm4)	$I_z^{(1)}$ (cm4)	$I_t^{(2)}$ (cm4)
N379	N357	6.250	9.08	6.56	6.56	13.12

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	0.00	0.00	0.00	0.00
L_K	0.000	0.000	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N379/N357	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	η = 88.3	N_{Ed} = 0.00 N.P.(1)	M_{Ed} = 0.00 N.P.(2)	M_{Ed} = 0.00 N.P.(2)	V_{Ed} = 0.00 N.P.(3)	V_{Ed} = 0.00 N.P.(3)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(5)	N.P.(6)	M_{Ed} = 0.00 N.P.(7)	N.P.(8)	N.P.(8)	**CUMPLE η = 88.3**

Notación:
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
(1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.
(2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
(3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
(4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
(5) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
(6) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
(7) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
(8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$\bar{\lambda}$ < ***0.01*** ✓

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A** : *9.08* cm²

$\mathbf{f_v}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_v}$: *265.00* MPa

$\mathbf{N_{cr}}$: Axil crítico de pandeo elástico. $\mathbf{N_{cr}}$: ∞

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.883*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H4.

$\mathbf{N_{t,Ed}}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{N_{t,Ed}}$: *202.26* kN

La resistencia de cálculo a tracción $\mathbf{N_{t,Rd}}$ viene dada por:

$\mathbf{N_{t,Rd}}$: *229.14* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A** : *9.08* cm²

$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{vd}}$: *252.38* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_v}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_v}$: *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

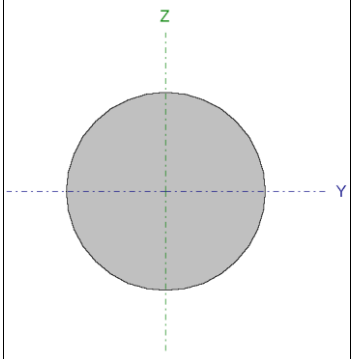
No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

5. Arrostramiento en cubierta

Perfil: R 19
Material: Acero (S275)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_v (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N43	N63	15.001	2.84	0.64	0.64	1.28

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	0.00	0.00	0.00	0.00
L_K	0.000	0.000	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N43/N63	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	η = 97.6	N_{Ed} = 0.00 N.P.(1)	M_{Ed} = 0.00 N.P.(2)	M_{Ed} = 0.00 N.P.(2)	V_{Ed} = 0.00 N.P.(3)	V_{Ed} = 0.00 N.P.(3)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(5)	N.P.(6)	M_{Ed} = 0.00 N.P.(7)	N.P.(8)	N.P.(8)	**CUMPLE η = 97.6**

Notación:
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
(1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.
(2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
(3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
(4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
(5) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
(6) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
(7) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
(8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$\bar{\lambda}$ < ***0.01*** ✓

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A** : *2.84* cm²

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *265.00* MPa

$\mathbf{N_{cr}}$: Axil crítico de pandeo elástico. $\mathbf{N_{cr}}$: ∞

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.976*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H3.

$\mathbf{N_{t,Ed}}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{N_{t,Ed}}$: *69.83* kN

La resistencia de cálculo a tracción $\mathbf{N_{t,Rd}}$ viene dada por:

$\mathbf{N_{t,Rd}}$: *71.56* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A** : *2.84* cm²

$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{vd}}$: *252.38* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

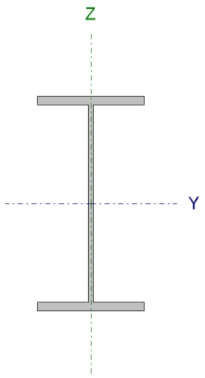
Anexo 3: Correas de cubierta

Comprobación de resistencia

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Aprovechamiento: 90.75 %

Barra pésima en lateral

Perfil: IPE 200
Material: S275



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_v (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
0.000, 5.000, 1.200	0.000, 0.000, 1.200	5.000	28.50	1943.00	142.00	6.98

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	1.00	1.00
L_K	5.000	5.000	5.000	5.000
C_m	1.000	1.000	1.300	1.300
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
pésima en lateral	N.P.(1)	x: 0.833 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	N_{Ed} = 0.00 N.P.(2)	N_{Ed} = 0.00 N.P.(3)	x: 2.5 m η = 74.3	x: 2.5 m η = 16.4	x: 0 m η = 6.3	x: 0 m η = 0.6	x: 0.833 m η < 0.1	x: 0.833 m η < 0.1	x: 2.5 m η = 90.8	x: 0.833 m η < 0.1	x: 0 m η = 59.8	x: 0 m η = 8.7	x: 0 m η = 0.8	**CUMPLE η = 90.8**

Notación:
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
(1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.
(2) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.
(3) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

32.68 ≤ 251.55 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.	h_w :	*183.00*	mm
t_w: Espesor del alma.	t_w :	*5.60*	mm
A_w: Área del alma.	A_w :	*10.25*	cm²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$:	*8.50*	cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.	**k** :	*0.30*	
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
f_{vf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{vf} :	*275.00*	MPa

Siendo:

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.286*** ✓

η : ***0.743*** ✓

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^+ : *0.00* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo 0.000, 5.000, 1.200, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H3.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^- : *16.58* kN·m

El momento flector resistente de cálculo $\mathbf{M_{c,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{M_{c,Rd}}$: *57.88* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$\mathbf{W_{pl,y}}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $\mathbf{W_{pl,y}}$: *221.00* cm³

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

$\gamma_{\mathbf{M0}}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{\mathbf{M0}}$: *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

El momento flector resistente de cálculo $\mathbf{M_{b,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{M_{b,Rd}}$: *22.30* kN·m

Donde:

$\mathbf{W_{pl,y}}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $\mathbf{W_{pl,y}}$: *221.00* cm³

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

$\gamma_{\mathbf{M1}}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{\mathbf{M1}}$: *1.05*

$\chi_{\mathbf{LT}}$: Factor de reducción por pandeo lateral.

$\chi_{\mathbf{LT}}$: *0.39*

Siendo:

$\phi_{\mathbf{LT}}$: *1.71*

$\alpha_{\mathbf{LT}}$: Coeficiente de imperfección elástica. $\alpha_{\mathbf{LT}}$: *0.21*

$\bar{\lambda}_{\mathbf{LT}}$: *1.47*

$\mathbf{M_{cr}}$: Momento crítico elástico de pandeo lateral. $\mathbf{M_{cr}}$: *28.12* kN·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral $\mathbf{M_{cr}}$ se determina según la teoría de la elasticidad:

Siendo:

$\mathbf{M_{LTv}}$: Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$\mathbf{M_{LTv}}$: *25.80* kN·m

$\mathbf{M_{LTw}}$: Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$\mathbf{M_{LTw}}$: *11.18* kN·m

Siendo:

$\mathbf{W_{el,y}}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida. $\mathbf{W_{el,v}}$: *194.30* cm³

$\mathbf{I_z}$: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. $\mathbf{I_z}$: *142.00* cm4

$\mathbf{I_t}$: Momento de inercia a torsión uniforme. $\mathbf{I_t}$: *6.98* cm4

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *81000* MPa

$\mathbf{L_c^+}$: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. $\mathbf{L_c^+}$: *5.000* m

$\mathbf{L_c^-}$: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. $\mathbf{L_c^-}$: *5.000* m

$\mathbf{C_1}$: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. $\mathbf{C_1}$: *1.00*

$\mathbf{i_{f,z}}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida. $\mathbf{i_{f,z}^+}$: *2.64* cm

$\mathbf{i_{f,z}^-}$: *2.64* cm

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.164*** ✓

Para flexión positiva:

$\mathbf{M_{Ed}^+}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{Ed}^+}$: *0.00* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo 0.000, 5.000, 1.200, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H3.

$\mathbf{M_{Ed}^-}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{Ed}^-}$: *1.92* kN·m

El momento flector resistente de cálculo $\mathbf{M_{c,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{M_{c,Rd}}$: *11.68* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$\mathbf{W_{pl,z}}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $\mathbf{W_{pl,z}}$: *44.60* cm³

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.063*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 5.000, 1.200, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H3.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *13.26* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: *211.94* kN

Donde:

$\mathbf{A_v}$: Área transversal a cortante. $\mathbf{A_v}$: *14.02* cm²

Siendo:

h: Canto de la sección. **h** : *200.00* mm

$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma. $\mathbf{t_w}$: *5.60* mm

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)
Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

28.39 < **64.71** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : *28.39*

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{máx}$: *64.71*

ε: Factor de reducción. ε : *0.92*

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. f_{ref} : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *275.00* MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.006*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 5.000, 1.200, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H3.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *1.54* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *275.99* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : *18.25* cm²

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : *28.50* cm²

d: Altura del alma. **d** : *183.00* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *5.60* mm

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{vd} : *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

8.84 kN ≤ 105.97 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.833 m del nudo 0.000, 5.000, 1.200, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H3.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *8.84* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *211.94* kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

1.02 kN ≤ 137.99 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.833 m del nudo 0.000, 5.000, 1.200, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H3.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *1.02* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *275.99* kN

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.451*** ✓

η : ***0.842*** ✓

η : ***0.908*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo 0.000, 5.000, 1.200, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H3.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. — **$N_{c,Ed}$** : *0.00* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. — **$M_{y,Ed}^{-}$** : *16.58* kN·m; **$M_{z,Ed}^{-}$** : *1.92* kN·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. — **Clase** : *1*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. — **$N_{pl,Rd}$** : *746.43* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. — **$M_{pl,Rd,y}$** : *57.88* kN·m; **$M_{pl,Rd,z}$** : *11.68* kN·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. — **A** : *28.50* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — **$W_{pl,y}$** : *221.00* cm³; **$W_{pl,z}$** : *44.60* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — **γ_{M1}** : *1.05*

k_y, k_z, $k_{y,LT}$: Coeficientes de interacción.

k_y : *1.00*

k_z : *1.00*

$k_{y,LT}$: *1.00*

$\mathbf{C_{m,y}}$, $\mathbf{C_{m,z}}$, $\mathbf{C_{m,LT}}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$\mathbf{C_{m,y}}$: *1.00*
$\mathbf{C_{m,z}}$: *1.00*
$\mathbf{C_{m,LT}}$: *1.30*

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : *0.85*
χ_z : *0.13*

χ_{LT}: Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

χ_{LT} : *0.39*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y$: *0.70*
$\bar{\lambda}_z$: *2.58*

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : *0.60*
α_z : *0.60*

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.833 m del nudo 0.000, 5.000, 1.200, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H3.

1.02 kN ≤ 113.88 kN ✓

Donde:

$\mathbf{V_{Ed,v}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed,v}}$: *1.02* kN

$\mathbf{V_{c,Rd,v}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd,v}}$: *227.77* kN

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

η : ***0.598*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 5.000, 1.200, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H3.

$\mathbf{M_{T,Ed}}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{T,Ed}}$: *0.74* kN·m

El momento torsor resistente de cálculo $\mathbf{M_{T,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{M_{T,Rd}}$: *1.24* kN·m

Donde:

$\mathbf{W_T}$: Módulo de resistencia a torsión. $\mathbf{W_T}$: *8.21* cm³

$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{vd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_v}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_v}$: *275.00* MPa

$\gamma_{\mathbf{M0}}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{\mathbf{M0}}$: *1.05*

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.087*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo 0.000, 5.000, 1.200, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H3.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *13.26* kN

$\mathbf{M_{T,Ed}}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{T,Ed}}$: *0.74* kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$: *153.07* kN

Donde:

$\mathbf{V_{pl,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{pl,Rd}}$: *211.94* kN

$\tau_{\mathbf{T,Ed}}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{\mathbf{T,Ed}}$: *90.42* MPa

Siendo:

$\mathbf{W_T}$: Módulo de resistencia a torsión. $\mathbf{W_T}$: *8.21* cm³

$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{vd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_v}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_v}$: *275.00* MPa

$\gamma_{\mathbf{M0}}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{\mathbf{M0}}$: *1.05*

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.008*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo 0.000, 5.000, 1.200, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H3.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *1.54* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. **$M_{T,Ed}$** : *0.74* kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **$V_{pl,T,Rd}$** viene dado por:

$V_{pl,T,Rd}$: *199.33* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{pl,Rd}$** : *275.99* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed}$: *90.42* MPa

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. **W_T** : *8.21* cm³

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Comprobación de flecha

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Porcentajes de aprovechamiento:
- Flecha: 71.39 %

Coordenadas del nudo inicial: 0.000, 5.000, 1.200
Coordenadas del nudo final: 0.000, 0.000, 1.200
El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis 1.00*G1 + 1.00*G2 + 1.00*V(270°) H1 a una distancia 2.500 m del origen en el primer vano de la correa.
(Iy = 1943 cm4) (Iz = 142 cm4)

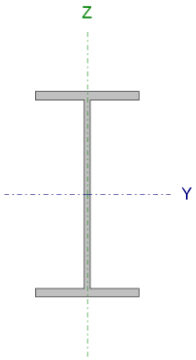
Anexo 4: Correas laterales

Comprobación de resistencia

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Aprovechamiento: 76.09 %

Barra pésima en cubierta

Perfil: IPE 180
Material: S275



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_v (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
0.800, 5.000, 15.000	0.800, 0.000, 15.000	5.000	23.90	1317.00	101.00	4.79

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	1.00	1.00
L_K	5.000	5.000	5.000	5.000
C_m	1.000	1.000	1.300	1.300
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
pésima en cubierta	N.P.(1)	x: 0.833 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	N_{Ed} = 0.00 N.P.(2)	N_{Ed} = 0.00 N.P.(3)	x: 2.5 m η = 76.1	M_{Ed} = 0.00 N.P.(4)	x: 5 m η = 6.1	V_{Ed} = 0.00 N.P.(5)	x: 0.833 m η < 0.1	N.P.(6)	N.P.(7)	N.P.(8)	x: 5 m η = 52.2	x: 5 m η = 8.0	N.P.(9)	**CUMPLE η = 76.1**

Notación:
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
(1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.
(2) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.
(3) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.
(4) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
(5) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
(6) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
(7) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
(8) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
(9) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

30.94 ≤ 250.32 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.	h_w :	*164.00*	mm
t_w: Espesor del alma.	t_w :	*5.30*	mm
A_w: Área del alma.	A_w :	*8.69*	cm²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$:	*7.28*	cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.	**k** :	*0.30*	
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
f_{vf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{vf} :	*275.00*	MPa

Siendo:

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.272*** ✓

η : ***0.761*** ✓

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^+ : *0.00* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo 0.800, 5.000, 15.000, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(270°) H1.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^- : *11.82* kN·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *43.48* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,y}$: *166.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

El momento flector resistente de cálculo $M_{b,Rd}$ viene dado por:

$M_{b,Rd}$: *15.54* kN·m

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,y}$: *166.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : *1.05*

χ_{LT}: Factor de reducción por pandeo lateral.

χ_{LT} : *0.36*

Siendo:

ϕ_{LT} : *1.82*

α_{LT}: Coeficiente de imperfección elástica. α_{LT} : *0.21*

$\bar{\lambda}_{LT}$: *1.54*

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral. M_{cr} : *19.33* kN·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral $\mathbf{M_{cr}}$ se determina según la teoría de la elasticidad:

Siendo:

$\mathbf{M_{LTv}}$: Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$\mathbf{M_{LTv}}$: *18.02* kN·m

$\mathbf{M_{LTw}}$: Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$\mathbf{M_{LTw}}$: *6.99* kN·m

Siendo:

$\mathbf{W_{el,y}}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida. $\mathbf{W_{el,y}}$: *146.33* cm³

$\mathbf{I_z}$: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. $\mathbf{I_z}$: *101.00* cm4

$\mathbf{I_t}$: Momento de inercia a torsión uniforme. $\mathbf{I_t}$: *4.79* cm4

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *81000* MPa

$\mathbf{L_c^+}$: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. $\mathbf{L_c^+}$: *5.000* m

$\mathbf{L_c^-}$: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. $\mathbf{L_c^-}$: *5.000* m

$\mathbf{C_1}$: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. $\mathbf{C_1}$: *1.00*

$\mathbf{i_{f,z}}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida. $\mathbf{i_{f,z}^+}$: *2.40* cm

$\mathbf{i_{f,z}^-}$: *2.40* cm

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.061*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.800, 0.000, 15.000, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(270°) H1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *10.38* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: *169.42* kN

Donde:

$\mathbf{A_v}$: Área transversal a cortante. $\mathbf{A_v}$: *11.20* cm²

Siendo:

$\mathbf{h}$: Canto de la sección. $\mathbf{h}$: *180.00* mm

$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma. $\mathbf{t_w}$: *5.30* mm

$\mathbf{f_{vd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{vd}}$: *261.90* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

$\gamma_{\mathbf{M0}}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{\mathbf{M0}}$: *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

27.55 < **64.71** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : *27.55*

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{máx}$: *64.71*

ε: Factor de reducción. ε : *0.92*

Siendo:

$\mathbf{f_{ref}}$: Límite elástico de referencia. $\mathbf{f_{ref}}$: *235.00* MPa

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

5.77 kN ≤ 84.71 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.833 m del nudo 0.800, 5.000, 15.000, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(270°) H1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *5.77* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *169.42* kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

η : ***0.522*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.800, 0.000, 15.000, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(270°) H1.

$\mathbf{M_{T,Ed}}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{T,Ed}}$: *0.47* kN·m

El momento torsor resistente de cálculo $\mathbf{M_{T,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{M_{T,Rd}}$: *0.91* kN·m

Donde:

$\mathbf{W_T}$: Módulo de resistencia a torsión. $\mathbf{W_T}$: *5.99* cm³

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{vd} : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.080*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo 0.800, 0.000, 15.000, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(270°) H1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *10.38* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed}$: *0.47* kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$V_{pl,T,Rd}$: *129.33* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{pl,Rd}$: *169.42* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed}$: *78.87* MPa

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. W_T : *5.99* cm³

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{vd} : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Comprobación de flecha

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Porcentajes de aprovechamiento: - Flecha: 34.24 %

Coordenadas del nudo inicial: 0.800, 5.000, 15.000
Coordenadas del nudo final: 0.800, 0.000, 15.000
El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis 1.00*G1 + 1.00*G2 + 1.00*V(270°) H1 a una distancia 2.500 m del origen en el primer vano de la correa.
(Iy = 1317 cm4) (Iz = 101 cm4)